image
not
available

Pouillet's

Lehrbuch der Physik

und

Meteorologie,

für

deutsche Verhältnisse frei bearbeitet

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Zweiter Band.

Zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Mit gegen 1200 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1845.

Lehrbuch

der

Physik und Meteorologie

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Als

zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage

der Bearbeitung

von

Pouillet's Lehrbuch der Physik.

Zweiter Band.

Mit gegen 1200 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1845.

Sechster Abschnitt.

Magnetismus und Elektricität.

Erste Abtheilung.

Magnetismus.

Erstes Kapitel.

Von der gegenseitigen Wirkung der Magnete auf einander und auf magnetische Körper.

1 Man findet im Schooße der Erde Körper, welche die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen. Diese Körper, welches auch ihre Zusammensetzung und ihre Form seyn mag, nennt man natürliche Magnete, früher nannte man sie Magnetsteine, weil sie eher ein steiniges als ein metallisches Ansehen haben. Es giebt schwache Magnete, d. h. solche, welche bei großem Volumen doch nur eine geringe anziehende Kraft zeigen und, mit Eisenfeile in Berührung gebracht, kaum einige Stückchen zu heben im Stande sind; dagegen findet man andere Magnete, welche so stark sind, daß sie Massen von 50, ja von 100 Kilogramm tragen können.

Um die anziehende Kraft zu zeigen, welche ein Magnet auf das Eisen ausübt, kann man folgende Versuche anstellen:

1) Wenn man einen Magneten mit einem Ende in Eisenfeile taucht, so sieht man, daß die Metalltheilchen sich an seine Oberfläche anhängen, daß sich ferner wieder ein Eisentheilchen an's andere hängt, und sich so Büschel von der Länge einiger Linien bilden. Dieses Aneinanderhängen der Eisentheilchen überhaupt, so wie auch die Art und Weise, wie sie sich unter einander ordnen, ist höchst merkwürdig, und wir werden ausführlicher darauf zurückkommen; für jetzt soll es uns nur ein einfacher Beweis für die Anziehung seyn.

2) Wenn man einem Magneten, je nach seiner Stärke, größere oder kleinere Stücke Eisen nähert, so scheinen sie in einer Entfernung von eini-

gen Millimetern vom Magnete gleichsam leichter zu werden; sie werden gegen seine Oberfläche hingezogen und bleiben dann an derselben hängen; um sie wieder abzureißen, hat man nach Umständen eine größere oder kleinere Kraft nöthig.

3) Wenn man eine kleine Eisenkugel an einem biegsamen Faden aufhängt und nach und nach einen Magneten nähert, so sieht man, wie das Pendel sich merklich von der Richtung der Vertikalen entfernt. Man kann auf diese Art selbst mehrere charakteristische Eigenschaften der magnetischen Anziehungskraft nachweisen, nämlich 1) daß sie in die Ferne wirkt, 2) daß sie eben so durch die Luft wie durch ein Vacuum, überhaupt durch alle Körper hindurch, Eisen ausgenommen, auf gleiche Weise wirkt, 3) daß sie mit wachsender Entfernung an Stärke abnimmt.

Da alle Anziehungen gegenseitig sind, so muß man schließen, daß, wenn der Magnet das Eisen anzieht, umgekehrt auch der Magnet vom Eisen nach denselben Gesetzen angezogen wird. Diese nothwendige Folgerung läßt sich übrigens auch direct durch die Umkehrung der eben angeführten Versuche darthun. Wenn man einen Magneten aufhängt, um ihn dadurch beweglich zu machen, so beobachtet man die erwähnten Erscheinungen, wenn man ihm ein Stück Eisen nähert.

Da sich diese anziehende Kraft von allen übrigen Naturkräften unterscheidet, so hat man ihr auch einen besonderen Namen, magnetische Kraft, gegeben, was von dem Worte μάγνης herkommt, mit welchem die Griechen die Steine bezeichneten, welche die erwähnte Eigenschaft haben, die den Alten schon bekannt war. Plato spricht davon in mehreren seiner Dialoge, und man muß bis zu den Zeiten des Pythagoras hinaufgehen, um die ersten Notizen über diesen Gegenstand zu finden, welche auf unsere Zeiten gekommen sind.

2 **Jeder Magnet hat eine Mittellinie und zwei Pole.** Das Eisen scheint in Beziehung auf den Magnet das zu seyn, was die schweren Körper für die Erdkugel sind. Auf allen Seiten zieht die Erde die schweren Körper gegen ihre Oberfläche an. Sehen wir nun, ob dies beim Magnete ebenso ist? ob die Eisentheilchen auf allen Punkten seiner Oberfläche auch gegen seinen Mittelpunkt angezogen werden? Nehmen wir das magnetische Pendel wieder zur Hand, d. h. eine kleine eiserne Kugel, welche an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man den Magneten immer in gleiche Entfernung von der Eisenkugel hält, so findet man, daß gewisse Punkte seiner Oberfläche, wenn man sie der Kugel zuwendet, eine stärkere Ablenkung bewirken als andere. Besonders bemerkt man zwei entgegengesetzte Enden, welche eine ganz besonders starke Wirkung äußern, während man an allen Punkten, welche zwischen diesen liegen, einen geringeren Effect beobachtet. Man gelangt zu demselben Resultate, mag man nun

zu diesem Versuche einen natürlichen Magneten in seiner unregelmäßigen Gestalt oder einen künstlichen Magneten von cylindrischer oder prismatischer Form anwenden. In dem letzteren Falle ist der Unterschied auffallender, und man sieht bald, daß diejenigen Querschnitte des Magneten, welche seiner Mitte nahe liegen, nicht auf das Pendel wirken, während die Wirkung, welche die äußersten Punkte hervorbringen, sehr kräftig ist. Man kann also auf der Oberfläche eines Magneten, ungefähr in der Mitte seiner Länge, eine Linie um denselben ziehen, deren Punkte gar keine anziehende Kraft auf das Eisen zeigen; man nennt diese Linie die neutrale Linie oder die Mittellinie. Sie theilt den Magneten in zwei Theile, welche man seine Pole nennt. Das Wort Pol wird auch noch in zwei anderen Bedeutungen gebraucht. Wir werden uns desselben bedienen, um diejenigen Punkte der Oberfläche damit zu bezeichnen, welche am weitesten von der Mitte entfernt sind, und in welchen die Anziehungskraft am stärksten ist; dann aber bezeichnet man auch mit dem Worte »Pol« einen idealen Punkt im Innern des Magneten, von welchem man sich die anziehende Kraft ebenso ausgehend denken kann, wie man sich die Gesammtanziehung, welche von der Erde ausgeht, in ihrem Mittelpunkte vereinigt denkt; denn ein Eisentheilchen wird nicht allein von demjenigen Punkte des Magneten angezogen, an welchem es gerade anhängt, oder welchem es zunächst liegt, sondern von allen denjenigen, welche auf derselben Seite der Mittellinie liegen; der Angriffspunkt der Resultirenden aller dieser partialen Anziehungen im Magnete nun wird der Pol genannt. Es wird stets leicht seyn, aus dem Zusammenhange zu ersehen, in welcher der drei Bedeutungen das Wort Pol zu nehmen sey. In jedem Falle hat ein Magnet eine Mittellinie und zwei Pole.

Dieser Fundamentalsatz kann aber auch durch andere leichtere und noch entscheidendere Versuche dargethan werden. Man wälze einen Magneten in Eisenfeile, so wird er sich mit längeren und kürzeren Fäden bedecken, welche dem Auge sichtbar machen, wie verschieden die Anziehung an verschiedenen Punkten der Oberfläche ist. Die Fig. 1 zeigt die Erscheinung an einem natürlichen, Fig. 2 an einem künstlichen Magneten. Die Enden bedecken sich mit langen Fäden von Eisenfeile, welche rechtwinklig auf der Oberfläche stehen. An denjenigen Querschnitten, welche weiter von den Enden entfernt sind, werden die Fäden kürzer und fangen an, sich gegen die

Fig. 1.

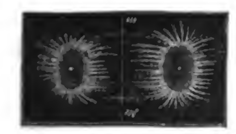


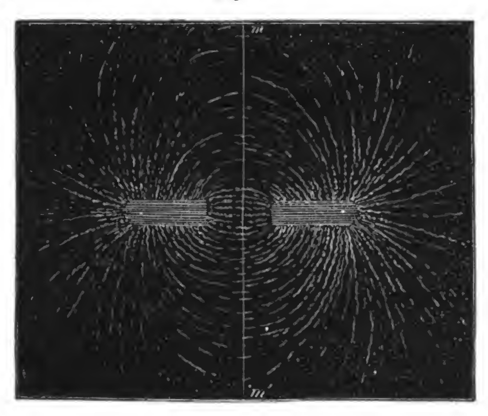
Fig. 2.



Mitte hin zu neigen, gleichsam als ob sie ein Bestreben hätten, von den Enden zu fliehen und sich der Mitte zu nähern. In der Mittellinie $m\,m'$ endlich bleibt kein Eisentheilchen hängen.

Man kann ähnliche Erscheinungen hervorbringen, wenn man auf einen Magneten ein Kartenblatt oder Papierblatt legt und Eisenfeile durch ein feines Sieb darauf fallen läßt; wenn man dann ganz schwach an das Blatt anstößt, so ordnen sich die Eisentheilchen in regelmäßige Kurven, wie man Fig. 3 sieht. Sie zeichnen gleichsam die Gestalt des Magneten mit seinen

Fig. 3.



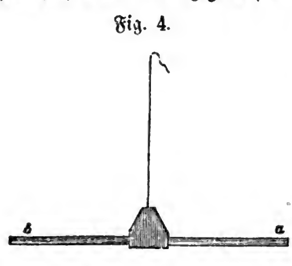
Polen ab. Man sieht auf diese Weise sehr deutlich, wie die Fäden der Eisenfeile von den beiden Seiten der Mittellinie mm' ausgehen, um sich auf dieser zu vereinigen. Dieser Versuch zeigt zu gleicher Zeit, daß die Anziehung des Magneten durch die Substanz des Papiers hindurchwirkt.

Man sollte auf den ersten Anblick glauben, daß, wenn man einen Magneten nach seiner Mittellinie theilt, alsdann die beiden so erhaltenen Stücke jedes für sich nicht vollständig die Eigenschaften eines ganzen Magneten haben könnten. Der Versuch ist leicht anzustellen. Wir werden sehen, daß man von gut gehärtetem Stahle Magnete machen kann, welche wie Glas brechen. Nehmen wir einen Magneten von dieser Art, brechen wir ihn nach seiner Mittellinie durch, so werden wir finden, daß jede der beiden Hälften für sich, in Eisenfeile gelegt, ganz die Eigenschaften eines vollständigen Magneten zeigt, jedes Stück hat wieder seine beiden Pole und seine Mittellinie. Bricht man jedes Stück von Neuem durch, so sind diese zuletzt erhaltenen Stücke wieder vollständige Magnete, welche, wie der ursprüngliche, ihre Pole und ihre Mittellinie haben. Wir werden später den

Grund dieser Erscheinung kennen lernen; hier genügt es, die Thatsache anzudeuten und zu zeigen, daß es unmöglich ist, einen Magneten zu bilden, welcher nur einen Pol hat.

Die gleichnamigen Pole stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an. 3 Die Fig. 4 stellt einen Magneten dar, welcher, in einer Kapsel von Papier oder Metall liegend, horizontal aufgehangen ist. Wenn man nun jedem der beiden Pole *a* und *b* denselben Pol eines anderen Magneten nähert, so wird der Pol *a* angezogen, während *b* abgestoßen wird. Man nennt nun die Pole *a* und *b* ungleichnamig, weil sie auf verschiedene Weise auf denselben ihnen genäherten Pol wirken. Wenn man nun den Magnet, den man in der Hand hielt, umkehrt, um seinen anderen Pol dem aufgehängten zu nähern, so wird das Umgekehrte stattfinden, *a* wird abgestoßen und *b* angezogen. Die beiden Pole des bei diesem Versuche in der Hand gehaltenen Magneten sind also auch verschiedener Natur, sie sind auch ungleichnamig. Ebenso läßt sich zeigen, daß die beiden Pole eines jeden Magneten ungleichnamig sind.

Fig. 4.



Nähert man dem aufgehängten Magneten nach einander zwei verschiedene Magnete, so wird es leicht seyn, an jedem derselben denjenigen Pol zu finden, welcher den Pol *a* des aufgehängten Magneten anzieht, *b* aber abstößt. Bezeichnen wir diesen Pol des ersten Magneten mit *n*, den Pol des zweiten Magneten aber, welcher ebenso wirkt, mit *n'*, so sind *n* und *n'* die gleichnamigen Pole dieser beiden Magnete. Der zweite Pol des ersten Magneten sey *m*, der des andern *m'*, so wird der Pol *m* ebenso wie der Pol *m'* den Pol *a* des aufgehängten Magneten abstoßen, den Pol *b* aber anziehen. Die beiden Pole *m* und *m'* sind ebenfalls gleichnamig.

Hängen wir jetzt den Magneten, dessen Pole wir mit *m* und *n* bezeichnet haben, so auf, daß er sich in einer horizontalen Ebene frei drehen kann, nähern wir ihm den andern, so finden wir, die Pole *m* und *m'* stoßen sich ab, ebenso die Pole *n* und *n'*, die gleichnamigen Pole stoßen sich also ab. Die Pole *m* und *n'*, *n* und *m'*, also die ungleichnamigen Pole, ziehen sich an.

In den beiden Hälften also, in welche ein Magnet durch die Mittellinie zerlegt wird, liegen zwei Kräfte, welche anfangs ganz identisch schienen, weil sie auf gleiche Weise auf das Eisen wirken, die aber in der That zwei ganz entgegengesetzte Kräfte sind. Die Mittellinie ist also die Grenze zweier antagonistischen Kräfte, sie bildet den Uebergang von der

einen zur andern, und darin liegt auch die Ursache ihrer neutralen Beschaffenheit.

Sucht man nun auf die Ursache dieser magnetischen Erscheinungen zurückzugehen, so sieht man bald, daß sie nicht wie die Schwere einer inhärirenden Eigenschaft der ponderabeln Materie zugeschrieben werden kann. Die natürlichen Magnete sind ihrer chemischen Zusammensetzung nach Eisenoxyd-Oxydul, sie bestehen also nur aus Eisen und Sauerstoff. Nun hat aber keines dieser Bestandtheile für sich die Eigenschaft, magnetische Wirkungen hervorzubringen, und es ist sehr unwahrscheinlich, daß ihre Moleküle, indem sie sich verbinden, ganz neue wesentliche Eigenschaften erhalten sollten, die sie vor ihrer Verbindung nicht hatten. Man hat bis jetzt an ponderabeln Materien noch nie beobachtet, daß die Form, das Arrangement der Theilchen, die Ursache von neuen in die Ferne wirkenden Kräften ist. Von einer andern Seite betrachtet, können die inhärirenden Kräfte der ponderabeln Materie wohl vermehrt und vermindert oder auf mannigfache Weise modificirt werden, man kann sie aber niemals gänzlich vernichten, während die magnetischen Kräfte nach Belieben zerstört und wiedererzeugt werden können. Man kann dies nachweisen, wenn man einen Magneten bis zum Rothglühen erhitzt. Er verliert dabei nichts von seinen materiellen Theilchen, und dennoch hat er alle magnetischen Eigenschaften verloren. Nach dem Erkalten ist er, was seine Materie betrifft, vollkommen unverändert, er äußert aber auf das Eisen nicht die geringste anziehende Kraft. Man kann ihm aber, wie wir bald sehen werden, seine magnetischen Eigenschaften wieder ertheilen, ohne ihm an ponderabeler Materie auch nur das Mindeste hinzuzufügen oder wegzunehmen.

Man ist durch diese Gründe dahin geführt worden, den Magnetismus als eine Flüssigkeit von ganz eigenthümlicher Art zu betrachten, welche in der ponderabeln Masse der Magnete verbreitet ist. Da wir nun aber zwei entgegengesetzte magnetische Kräfte kennen gelernt haben, müssen wir auch zwei entgegengesetzte magnetische Flüssigkeiten annehmen, von welchen die eine am einen, die andere am andern Pole vorherrscht. In gleichnamigen Polen prädominirt dieselbe Flüssigkeit, und da sie sich abstoßen, so müssen wir schließen, daß jede Flüssigkeit sich selbst abstößt; ungleichnamige Pole aber enthalten die entgegengesetzten Flüssigkeiten, und diese ziehen sich an.

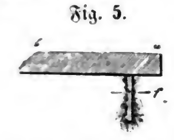
Solche Flüssigkeiten müssen auch im Eisen vorhanden seyn, denn wenn sie von der ponderabeln Materie verschieden sind, so muß man annehmen, daß sie nicht auf die materiellen Theilchen des Eisens selbst, wohl aber auf die in den Zwischenräumen der Moleküle enthaltene magnetische Flüssigkeit wirken

Obnun wirklich ein solches magnetisches Fluidum existire, läßt sich freilich durch ein solches Raisonnement nicht darthun, wir halten aber an dieser

Vorstellungsweise fest, weil wir bei dem gegenwärtigen Zustande unserer Naturkenntniß keine bessere Theorie substituiren können. Unsere Theorie genügt dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft, sie macht es möglich, alle die verschiedenen magnetischen Erscheinungen unter einem Gesichtspunkte zu vereinigen.

4 **Unter dem Einfluß eines Magneten wird das Eisen selbst zum Magnet.** Um diese Eigenschaft des Eisens zu beweisen, kann man den Versuch so anstellen, wie Fig. 5 angedeutet ist. Ein Cylinder *f* von Eisen sey durch einen Magneten *a b* getragen; wenn man nun dem untern Ende dieses Cylinders Eisenfeile nähert, so hängt sie sich in Form eines Büschels an und bleibt so lange daran hängen, als der kleine Cylinder an dem Magneten hängt; sobald man ihn aber abreißt, fällt auch die Eisenfeile wieder ab, man beobachtet keine anziehende Kraft mehr. Man kann diese Erscheinung nicht der in die Ferne wirkenden Kraft des Magneten zuschreiben, denn wenn der kleine Cylinder nicht von Eisen wäre, so würde man dieses Phänomen nicht beobachten; man wird sich aber noch mehr davon überzeugen, wenn man beobachtet: 1) daß die Fäden der Eisenfeile vom Ende des kleinen Cylinders an immer kleiner werden, 2) daß sich gegen sein oberes Ende hin ein Punkt findet, wo die Eisenfeile gar nicht mehr anhängt, daß der kleine Cylinder also eine magnetische Mittellinie hat, 3) daß über diesem Punkte die Eisenfeile wieder anhängt, daß die Fäden aber eine entgegengesetzte Richtung haben. Der kleine Cylinder ist also ein förmlicher Magnet, er zieht Eisenfeile an, er hat zwei Pole und eine Mittellinie, nur fällt diese magnetische Mittellinie nicht mit der geometrischen Mitte zusammen.

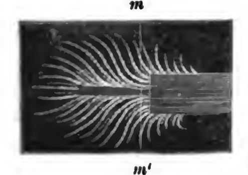
Fig. 5.



Anstatt dem angehängten Cylinder Eisenfeile zu nähern, kann man einen ähnlichen Cylinder anhängen, Fig. 6, welcher auch getragen wird; an diesen kann man einen dritten hängen, welcher wieder einen vierten trägt u. s. w. Man kann auf diese Weise eine Kette bilden, deren erstes Glied der Magnet ist. Nimmt man dieses Glied weg, so fällt die ganze Kette auseinander, weil keine Kraft mehr da ist, welche die Glieder zusammenhält.

Fig. 6.

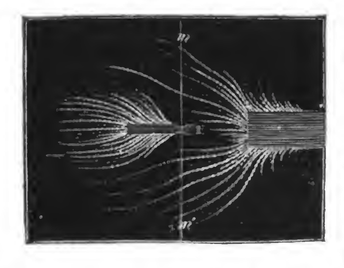
Fig. 7.



Man kann dasselbe beweisen, wenn man den kleinen Cylinder von Eisen in der Richtung der Längenaxe des Magneten an denselben anlegt und beide auf ein Blatt von weißem Papier bringt. Eisenfeile, welche man darauf streut, arrangirt sich regelmäßig und zeigt in *m m′* eine Mittellinie, welche die beiden ent-

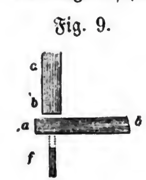
gegengesetzten Actionen trennt, die nun im Eisencylinder thätig sind. Sobald man aber den Magneten wegzieht, hat die Eisenfeile kein Bestreben mehr sich regelmäßig zu ordnen, noch das ursprüngliche Arrangement beizubehalten, was beweis't, daß das Eisen seine magnetischen Eigenschaften, die es unter dem Einflusse des Magneten angenommen hatte, wieder verliert. Wenn man den Versuch modificirt, kann man beweisen, daß das Eisen nicht allein durch den unmittelbaren Contact mit dem Magneten die magnetischen Eigenschaften erhält, sondern daß es sie schon in einiger Entfernung vom Magneten erhält, wie man Fig. 8 sieht.

Fig. 8.



Das Eisen enthält also, wie der Magnet selbst, die beiden magnetischen Flussigkeiten, allein sie sind verbunden, die eine neutralisirt die andere. Deshalb zeigt das Eisen keine magnetischen Wirkungen, denn was die eine Flüssigkeit anzieht, stößt die andere mit gleicher Kraft ab, die Gesammtwirkung ist also Null. Wenn aber das Eisen der Einwirkung eines Magneten ausgesetzt wird, so werden die beiden Flüssigkeiten von einander getrennt, die eine wird vom Magneten angezogen, die andere aber abgestoßen. Das Eisen magnetisiren heißt also: die magnetischen Flüssigkeiten trennen. Der folgende Versuch ist sehr geeignet, dies anschaulich zu machen. Ein horizontaler Magnet *a b* trägt an seinem Ende eine Eisenmasse *f*, deren Gewicht der Grenze dessen ziemlich nahe liegt, was der Magnet überhaupt zu tragen im Stande ist. Ueber *a b* nähert man nun einen anderen Magneten *a' b'* von gleicher Stärke, aber so, daß die entgegengesetzten Pole *a* und *b'* einander zugekehrt sind. Wenn man nun diesen zweiten Magneten auf die erwähnte Art allmälig nähert, so fällt das Eisenstück *f* herab. Die beiden Magnete zusammengenommen können also nicht tragen, was jeder für sich zu tragen vermag. Man sieht den Grund davon leicht ein: der zweite Magnet zerstört die Wirkungen des erstern, indem er die Flüssigkeiten der Eisenmasse *f* in entgegengesetztem Sinne zerlegt.

Fig. 9.



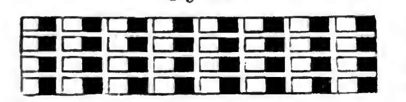
5 **Die magnetische Flüssigkeit geht weder von einem Magneten auf das Eisen über, noch von einem Molekül des Eisens auf das benachbarte.** Mit einem Magneten kann man so viel und so oft Eisenstücke magnetisch machen, als man nur will, ohne daß er auch nur im Mindesten von seiner anziehenden Kraft verliert. Bei dieser Operation geht also nichts von der magnetischen Flüssigkeit auf das Eisen über, weil

sich ja sonst der Magnet erschöpfen müßte. Ferner bemerkt man, daß ein Stück Eisen, welches während der ganzen Zeit, in welcher es mit einem Magnete in Berührung bleibt, magnetisch ist, keine Spur von Magnetismus behält, wenn man es von dem Magneten wegnimmt, es kann also nichts auf das Eisen übergegangen seyn. Endlich hat jeder Cylinder von Eisen, so lange er mit dem Magneten in Berührung bleibt, eine Mittellinie und zwei Pole, woraus hervorgeht, daß er beide Flüssigkeiten enthält, und doch könnte er ohne Zweifel von dem Magnete nur eine Flüssigkeit erhalten, wenn überhaupt etwas von dem Magnete überginge. Die magnetische Flüssigkeit geht also nicht von einem Körper zum andern über.

Man sollte demnach denken, daß sich die magnetischen Flüssigkeiten in den magnetischen Körpern wie in vollkommen verschlossenen Gefäßen befänden, daß sie sich aber doch im Innern frei bewegen könnten; daß sie also durch äußere Einwirkungen getrennt und jedes der beiden Fluida an einer andern Stelle des Eisens angehäuft werden könnte, so daß am einen Pol vorzugsweise die eine, am andern Pol die andere Flüssigkeit sich vorfindet. Diese Vorstellungsweise liegt wenigstens am nächsten, wenn man die erwähnten Erscheinungen der magnetischen Vertheilung betrachtet. Bei näherer Betrachtung ergiebt sich jedoch bald, daß es nicht so ist. Bringen wir einen Eisendraht mit einem Magneten in Berührung, so wird er selbst magnetisch, und wenn die eben erwähnte Vorstellung richtig wäre, so müßte sich, wenn man den Draht nach seiner Mittellinie durchschneidet, in jeder Hälfte nur eine Flüssigkeit vorfinden. Es ist aber nicht so; das Stück, welches am Magneten hängen bleibt, ist noch immer ein vollständiger Magnet, das Stück aber, welches herabgefallen ist, zeigt keine Spur von Magnetismus, es enthält also beide Fluida in gleichem Maaße, in gleichmäßiger Vertheilung. In dem abgeschnittenen Drahtstücke konnte also nicht die eine der beiden Flüssigkeiten in dieser Weise angehäuft seyn.

Die Erscheinungen der magnetischen Vertheilung scheinen uns also zu unlöslichen Widersprüchen zu führen, welche jedoch durch folgende Vorstellungen gehoben werden. Die magnetischen Fluida können nicht von einem Molekül zum andern übergehen, sie können aber in jedem Molekül für sich getrennt werden, so daß man die Moleküle selbst theilen müßte, wenn man jede der beiden Flüssigkeiten isolirt darstellen wollte. Einen Magneten oder einen magnetisirten Eisenstab müssen wir uns, wie Fig. 10 anschaulich macht, aus kleinen Theilchen zusammengesetzt denken, deren jedes die beiden Fluida, aber im getrennten Zustande, enthält; und zwar findet die Vertheilung der magnetischen Fluida in jedem Theilchen in der Weise Statt,

Fig. 10.



daß das gleichartige Fluidum in allen Theilchen nach derselben Seite hingekehrt ist. An dem linken Ende des Fig. 10 dargestellten Magneten ist also nur die eine, am rechten Ende nur die andere Flüssigkeit vorhanden; die Polarität des Magneten ist also erklärt. Man begreift nach dieser Vorstellungsweise recht gut, daß man einen Magneten in zwei Theile zerbrechen kann und daß jedes Stück für sich wieder ein vollständiger Magnet ist.

Der Stahl nimmt alle magnetischen Eigenschaften an. Man kann zu den oben erwähnten Versuchen Feilspähne von Stahl ebenso gut anwenden wie Eisenfeile.

Die Stahlfeile hängt sich an den Magneten an und bildet Büschel von merklicher Länge, nur ist die Einwirkung des Magneten auf die Stahlfeile etwas langsamer. Nimmt man aber Stahlstücke von bedeutenderem Volumen und namentlich Stücke von gut gehärtetem Stahl, so zeigen sie ein ganz anderes Verhalten als Eisen, denn es scheint, als ob ein Magnet nur schwach auf sie einwirkte. Wiederholt man den Fig. 11 angedeuteten Versuch mit Cylindern von Stahl, so hängt sich schon der erste Cylinder nicht so leicht an, man kann mit Stahl keine so lange Kette bilden, wie mit Eisen. Da jedoch kleine Stahlstücke angezogen werden, so können wir unmöglich annehmen, daß ein größeres Stück dieser Substanz gegen den Magnetismus durchaus unempfindlich seyn soll. In der That, wenn man ein Stahlstück längere Zeit, etwa $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ Stunde, mit dem Magnet in Berührung läßt, so findet man, daß es ebenfalls magnetisch geworden ist. Seine magnetische Kraft nimmt mit der Dauer der Berührung zu, und endlich wird der Stahl ebenso magnetisch wie das Eisen. Man kann die längere Berührungsdauer auch dadurch ersetzen, daß man das Stahlstück mit einem Magnet mehrmals in einerlei Richtung bestreicht. Der gehärtete Stahl zeigt also die charakteristische Eigenschaft, daß er nur durch längere Berührungsdauer mit dem Magneten oder durch wiederholtes Streichen vollkommen magnetisch gemacht werden kann. Eine zweite charakteristische Eigenschaft des Stahls ist es aber, daß, wenn er einmal magnetisch ist, er für immer magnetisch bleibt, was beim Eisen nicht der Fall ist. Um dies zu beweisen, braucht man nur ein Stahlstück, welches man mit einem Magneten gestrichen hat, in Eisenfeile zu legen, und man wird alsbald erkennen, daß es seine Mittellinie und seine beiden Pole hat. Wiederholt man den Versuch einen Tag, einen Monat, ein Jahr nachher, so wird man finden, daß das Stahlstück nichts an magnetischer Kraft verloren hat. Ein auf die erwähnte Weise behandeltes Stück Stahl hat für immer alle charakteristischen Eigenschaften eines Magneten.

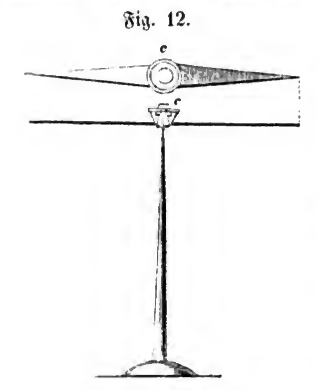
Fig. 11.

Weil der Stahl ursprünglich der magnetischen Einwirkung widersteht,

schließt man, daß in ihm eine Kraft vorhanden sey, welche der Trennung der magnetischen Fluida entgegenwirkt; man nennt diese Kraft **Coërcitivkraft**. Weil aber auch der Stahl den Magnetismus behält, welchen man ihm mitgetheilt hat, so muß auch eine Kraft vorhanden seyn, welche sich der Wiedervereinigung der einmal getrennten magnetischen Fluida, die sich fortwährend zu verbinden, sich zu neutralisiren streben, widersetzt, denn wenn eine solche Kraft nicht vorhanden wäre, so würden sie sich in der That alsbald wieder vereinigen, der Stahl würde alsbald wieder in seinen natürlichen Zustand zurückkehren, sobald die zerlegende Wirkung des Magneten aufhört, wie es ja beim weichen Eisen wirklich der Fall ist. Diese der Wiedervereinigung der getrennten Fluida widerstrebende Kraft wird ebenfalls **Coërcitivkraft** genannt. Ob nun die Coërcitivkraft, welche der Trennung der magnetischen Fluida widerstrebt, und diejenige Kraft, welche ihre Wiedervereinigung hindert, identisch sind, darüber läßt sich bis jetzt noch nichts entscheiden.

Unter allen Körpern der Natur ist vielleicht keiner, welcher so verschiedenartiger Arrangements der Molekule fähig ist, ohne daß sich seine chemische Zusammensetzung merklich ändert, als der Stahl. Durch verschiedene Grade des Härtens und des Anlassens kann man demselben Stück Stahl die entgegengesetztesten Eigenschaften ertheilen; man kann vollkommen elastische Federn machen; Stäbe, welche sich wie Eisen hämmern lassen; Feilen, Meißel und andere Instrumente, welche spröde sind wie Glas. In allen diesen verschiedenen Zuständen ist auch die Coërcitivkraft des Stahls verschieden. Der härteste und sprödeste Stahl hat in der Regel auch die stärkste Coërcitivkraft. Selbst das Eisen hat einige Coërcitivkraft, wenn es gehämmert oder durch einen Drahtzug gezogen ist. Mit dem Namen **weiches** Eisen wollen wir jedoch solches Eisen bezeichnen, welches gar keine Coërcitivkraft hat.

Fig. 12.



Aus dem Gesagten geht hervor, daß man von Stahl Magnete machen kann, welche alle Eigenschaften der natürlichen haben; dabei hat man aber den Vortheil, daß man ihnen eine beliebige Größe und Form geben kann, wie es gerade zu unseren Untersuchungen am geeignetsten ist. Die künstlichen Magnete haben verschiedene Namen. Eine **Magnetnadel** (Fig. 12) hat in der Regel die Gestalt einer Raute; sie hat ent-

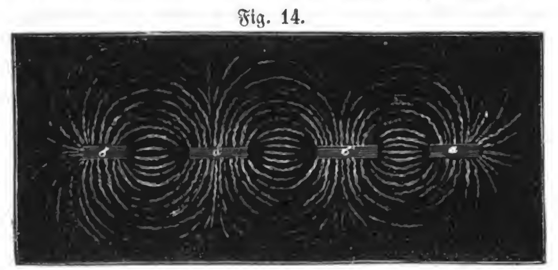
weder in ihrer Mitte ein Achathütchen, welches man auf eine feine Stahlspitze setzt, oder sie wird an einem Faden aufgehangen. Manchmal besteht die Magnetnadel aus einem einfachen Stahldraht, einem Cylinder oder einem in die Länge gezogenen Prisma. Wenn die Dimensionen der Nadel zu groß sind, so reicht es, um sie zu magnetisiren, nicht mehr hin, sie einige Mal an einem Magneten herzustreichen, man muß in diesem Falle zu besonderen Verfahrungsarten seine Zuflucht nehmen, welche wir weiter unten näher werden kennen lernen.

Es kommt manchmal vor, daß ein Magnet mehr als zwei Pole hat, welche man Folgepunkte nennt. Ihre Gegenwart läßt sich durch eine Probenadel nachweisen, wie man Fig. 13 sieht. Wenn diese horizontal hängt, so nähert man ihr den zu prüfenden Stab in vertikaler Stellung, bewegt ihn auf und nieder, so daß alle seine Punkte der Reihe nach an demselben Pole der beweglichen Nadel vorübergehen. Wenn keine Folgepunkte vorhanden sind, so beobachtet man nur einmal Anziehung und einmal Abstoßung. Wenn aber ein Folgepunkt vorhanden ist, so beobachtet man zwei Abwechselungen, z. B. eine Anziehung, eine Abstoßung und dann wieder eine Anziehung. Wenn zwei Folgepunkte vorhanden sind, so beobachtet man einen dreimaligen Wechsel rc.

Fig. 13.

Die Folgepunkte können aber auch noch dadurch sichtbar gemacht werden, daß man den Magneten in Eisenfeile taucht, oder daß man ihn unter ein Papierblatt legt, auf welches man Eisenfeile fallen läßt, wo man dann die Erscheinung Fig. 14 beobachtet.

Fig. 14.



Wir werden weiter unten sehen, wie die Folgepunkte entstehen, wie man sie wegbringen und vermeiden kann, was für die Construction der Boussolen von der größten Wichtigkeit ist.

7 **Von den verschiedenen magnetischen Substanzen.** Da die magnetischen Fluida nicht von einem Körper zum andern übergehen, da sie gewissermaßen an die Moleküle der ponderabeln Materie gebunden sind, so folgt, daß diejenigen einfachen Körper, welche magnetische Eigenschaften

haben, dieselben mehr oder weniger in allen Verbindungen behalten, welche sie eingehen. In der That sind sehr viele eisenhaltige Körper magnetisch, und zwar um so mehr, je größer der Eisengehalt ist; es giebt jedoch auch viele Eisenverbindungen, und namentlich solche, die verhältnißmäßig weniger Eisen enthalten, welche durchaus nicht magnetisch sind. Nickel, Kobalt, Chrom und Mangan sind außer dem Eisen die einzigen einfachen Körper, welche magnetisch werden können; diese Eigenschaft verschwindet aber in den meisten ihrer chemischen Verbindungen fast gänzlich.

Zweites Kapitel.

Von der magnetischen Wirkung der Erde.

Richtung der Magnete, Declination, Inclination. Eine an 8 einem Seidenfaden horizontal aufgehängte oder auf einer feinen Spitze bewegliche Magnetnadel ist nicht in jeder Lage im Gleichgewichte, sie nimmt eine bestimmte Stellung ein, indem sie sich gegen einen bestimmten Punkt des Horizonts richtet. Wenn man sie aus dieser Lage herausbringt, so kehrt sie doch immer nach einer Reihe von Oscillationen in dieselbe zurück. Die Kraft, welche die Nadel immer wieder in diese Lage zurückführt, ist eine magnetische; denn eine nicht magnetisirte Nadel zeigt nichts der Art. Diese merkwürdige Eigenschaft der Magnetnadeln beobachtet man überall; in allen Welttheilen, auf allen Meeren, auf den höchsten Gipfeln der Berge und in den tiefsten Schachten, überall nimmt die Magnetnadel eine bestimmte Richtung an, in welche sie immer wieder zurückkehrt, wenn man sie auch daraus entfernt. Es giebt also eine magnetische Kraft, welche an allen Punkten der Erdoberfläche thätig ist, denn die Magnetnadeln können sich nicht selbst richten, so wenig wie sich ein Körper selbst in Bewegung setzen kann; in beiden Fällen ist die Einwirkung einer äußern Kraft nöthig.

Wir können durch einen einfachen Versuch darthun, daß diese richtende Kraft ganz in der Art wirkt wie ein Magnet und nicht wie eine Eisenmasse. Wenn man die Pole einer Magnetnadel ganz und gar umkehrt, so ist sie in ihrer neuen Lage nicht im Gleichgewichte, sie wird einen vollständigen Halbkreis beschreiben, um wieder in die Gleichgewichtslage zurückzukehren und ihre ursprüngliche Richtung wieder anzunehmen. Die richtende Kraft unterscheidet also die Pole, und, gerade wie ein Magnet, zieht sie den einen Pol an und stößt den andern ab, während das Eisen sowohl den einen als auch den andern Pol eines Magneten mit gleicher Stärke anzieht.

Wo findet sich aber der Mittelpunkt dieser magnetischen Wirkung, welche so allgemein über die ganze Erde verbreitet ist? Diese Frage scheint sehr schwer zu beantworten, und sie bildete früher den Gegenstand mannigfacher Discussionen unter den Physikern. Einige setzten ihn mit Cardanus in einen kleinen Stern im Schwanz des großen Bären; Andere setzten ihn in den Pol der Ekliptik; Andere, denen sogar der Himmel zu eng war, nahmen jenseits der Gestirne einen Anziehungsmittelpunkt an, von wo aus die Kraft, welche die Magnetnadel richtet, auf die Erde gelangt. Gilbert endlich, welcher gegen das Ende des 16ten Jahrhunderts ein Werk de magnete magneticisque corporibus et magno magnete Tellure schrieb, machte allen diesen oberflächlichen Hypothesen ein Ende, indem er, soweit es damals möglich war, bewies, daß die Erdkugel selbst ein Magnet ist, und daß ihre Einwirkung es sey, welche die Magnetnadel richtet.

Indem man alle die verschiedenen Beobachtungen zusammenfaßt, welche an verschiedenen Orten gemacht worden sind, wird man wirklich dahin geleitet, die Erde als einen großen Magneten anzusehen, dessen Mittellinie in den Aequatorialgegenden liegt. Dies giebt uns ein Mittel, die beiden Pole eines Magneten passend zu bezeichnen.

Die beiden Pole des großen Erdmagneten fallen in die Nähe der Pole der Erdachse, man nennt deshalb den einen Pol den magnetischen Nordpol, den andern den Südpol. Nun aber ziehen sich die ungleichnamigen Pole an, eine Magnetnadel wird also ihren Südpol nach Norden und ihren Nordpol nach Süden kehren.

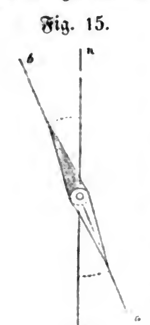
Diese Bezeichnung der Pole ist jedoch nicht allgemein angenommen; Andere nämlich bezeichnen die Pole einer Magnetnadel gerade auf die entgegengesetzte Weise, indem sie denjenigen Pol, welcher nach Norden gekehrt ist, auch den Nordpol nennen.

Wenn man an einem und demselben Orte zwei Magnetnadeln in solcher Entfernung von einander aufhängt, daß sie keinen Einfluß auf einander ausüben können, so nimmt jede eine Richtung an, welche mit der der andern parallel ist. Für solche Orte der Erde aber, welche um mehrere Längen- oder Breitengrade von einander entfernt sind, findet dieser Parallelismus nicht mehr Statt. Es ist nun von der größten Wichtigkeit, die Richtung der Magnetnadel bestimmen zu können, d. h. sie mit Linien von unveränderlicher Lage zu vergleichen, um auch an einem und demselben Orte die Variationen zu ermitteln, welche die Richtung der Magnetnadel im Laufe der Zeit erleidet, und welche Beziehungen zwischen der Richtung der Magnetnadel an verschiedenen Orten stattfindet.

Der magnetische Meridian ist diejenige vertikale Ebene, welche man sich durch die Richtungslinie eines horizontalen Magneten zerlegt denken kann, oder auch nur der Durchschnitt dieser Ebene mit der Erdoberfläche.

Der magnetische Meridian eines Ortes macht nun mit dem astronomischen Meridian einen Winkel, welchen man die Declination oder Abweichung nennt. Die Declination ist östlich oder westlich, je nachdem die Magnetnadel nach der einen oder nach der andern Seite des astronomischen Meridians abweicht. In Fig. 15 z. B. stellt *s n* den Meridian eines Ortes dar, *a b* aber die Richtung der horizontalen Magnetnadel an demselben Orte. Die westliche Declination betrug zu Göttingen im Januar 1837 18° 37′ 30,55″: wir werden bald sehen, daß die Declination mit der Zeit sich ändert. Es giebt Orte auf der Erde, wo die Richtung der Magnetnadel vollständig mit dem Meridian zusammenfällt; an diesen Orten ist natürlich die Declination gleich Null.

Fig. 15.



Jeder Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu messen, heißt eine Declinationsboussole.

Fig. 16.

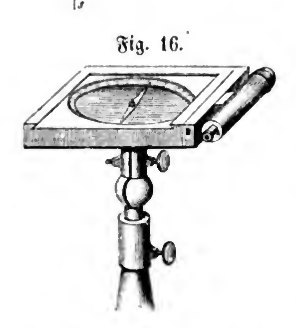


Fig. 16 stellt eine solche Boussole ziemlich einfacher Art vor. Die Spitze, auf welche die Nadel aufgesetzt ist, ist der Mittelpunkt eines getheilten Horizontalkreises, welcher um eine verticale Axe in seiner eigenen Ebene umgedreht werden kann. An der Seite des Gehäuses ist ein Fernrohr angebracht, dessen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man sich vom Nullpunkte des getheilten Kreises über seinen Mittelpunkt zum Theilstriche 180′ gezogen denken kann. Je nachdem man den Horizontalkreis in seiner Ebene umdreht, wird die Spitze der Magnetnadel bei andere Theilstriche zu stehen kommen. Wenn man den Apparat so stellt, daß die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, so ist die Axe des Fernrohrs mit der Nadel parallel, sie fällt mit dem magnetischen Meridian zusammen; bei jeder anderen Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilstrich des Kreises, welcher angiebt, wieviel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohrs (oder vielmehr der Horizontalproportion der Fernrohraxe) macht; wenn man also das Fernrohr genau in den astronomischen Meridian bringt, so kann man auf dem Theilkreise ablesen, welchen Winkel der magnetische Meridian mit dem astronomischen macht.

Dieses Instrument kann nun überhaupt als Winkelmeßinstrument dienen, weil man mit Hülfe desselben jederzeit den Winkel bestimmen kann

welchen die Visirlinie des Fernrohrs (oder vielmehr ihre Horizontalproportion) mit dem magnetischen Meridian macht.

Die Declinationsboussole, deren sich die Seefahrer bedienen, ist unter dem Namen des Compasses bekannt.

Im Ganzen nähert sich die Richtung der Magnetnadel mehr der Richtung von Norden nach Süden als von Osten nach Westen, daher man denn gewöhnlich sagt, die Magnetnadel zeigt nach Norden.

Die Magnetnadeln, welche wir bisher betrachtet haben, sind in einer Weise aufgehängt, daß sie sich nur in einer horizontalen Ebene, also um eine vertikale Axe drehen können. Sowohl bei der Fig. 4, als auch Fig. 12 dargestellten Aufhängung ist die horizontale Stellung dadurch gesichert, daß der Schwerpunkt der Nadel unter dem Aufhängepunkte liegt. Sobald man aber eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte selbst aufhängt, so bleibt sie nicht mehr wagerecht stehen, sondern sie macht einen Winkel mit der Horizontalen, welcher den Namen der Inclination führt.

Der Fig. 17 abgebildete Apparat ist sehr geeignet, die Inclination der Magnetnadel zu zeigen. An einem Rahmen von Messing, welcher an einem Faden aufgehängt ist, befindet sich eine sehr leicht bewegliche horizontale Axe $a\ b$, welche durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Man sieht, daß eine so aufgehängte Magnetnadel um eine vertikale und um eine horizontale Axe sich drehen und also dem richtenden Einflusse der Erde ganz frei folgen kann. Die Nadel stellt sich nun so, daß ihre Richtungslinie in den magnetischen Meridian fällt, das nach Norden gekehrte Ende der Nadel aber senkt sich, die Richtungslinie der Nadel macht also einen Winkel mit der Horizontalen, der in unseren Gegenden ungefähr 70° beträgt.

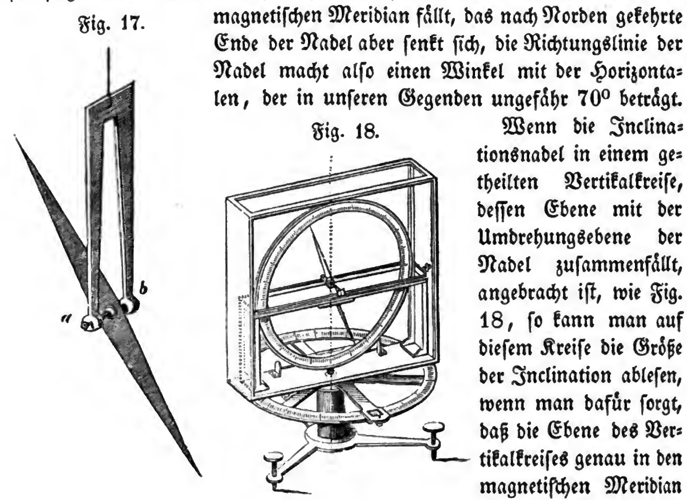


Fig. 17.

Fig. 18.

Wenn die Inclinationsnadel in einem getheilten Vertikalkreise, dessen Ebene mit der Umdrehungsebene der Nadel zusammenfällt, angebracht ist, wie Fig. 18, so kann man auf diesem Kreise die Größe der Inclination ablesen, wenn man dafür sorgt, daß die Ebene des Vertikalkreises genau in den magnetischen Meridian fällt.

Solche Apparate, welche dazu dienen, die Inclination zu messen, heißen Inclinatorien oder Inclinationsboussolen.

Die Größe der Inclination nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; an manchen Orten nimmt die Inclinationsnadel eine fast senkrechte Stellung an; so beobachtete z. B. Kapitän Philipps im Jahr 1773 unter 79° 44′ nördlicher Breite eine Inclination von 82° 9′, und Parry unter 70° 47′ eine Inclination von 88° 43′. Kapitän Roß endlich hat den magnetischen Nordpol der Erde selbst erreicht. Unter 70° 5′ N. B. und 263° 14′ östlich von Greenwich fand er die Declination 90°. Die Neigung der Magnetnadel ist in hohen Breiten so bedeutend, daß der Compaß für die Seefahrer seine Brauchbarkeit verliert, wie durch die letzten Nordpolexpeditionen bewiesen ist.

Je weiter man hingegen nach Süden geht, desto mehr nimmt die Inclination ab, und in der Aequatorialzone kommt man zu einem Punkt, wo die Inclination Null ist, wo also die Inclinationsnadel vollkommen wagerecht steht; geht man noch weiter nach Süden, so beobachtet man abermals eine Inclination, aber eine entgegengesetzte, es ist nun das nach Süden gekehrte Ende, welches sich tiefer stellt. Diese Inclination nimmt nun ebenfalls mit der südlichen Breite zu. In der Nähe des Südpols der Erde giebt es demnach einen zweiten Punkt, an welchem sich die Inclinationsnadel völlig vertikal stellt, und dies ist der magnetische Südpol der Erde.

In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialzone passiren mag, so wird man doch immer einen Punkt finden, wo die Inclinationsnadel wagerecht steht. Diese Orte ohne Inclination bilden um die ganze Erde eine Kurve, welche man den magnetischen Aequator nennt.

Der magnetische Aequator fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen und bildet auch keinen regelmäßigen größten Kreis der Erdkugel. Die größte südliche Breite erreicht er im atlantischen Ocean, ohngefähr 28° westlich von Paris, wo er sich 14° südlich vom Erdäquator findet. Mehr nach Westen hin nähert sich der magnetische Aequator dem Erdäquator und erreicht ihn 120° westl. von Paris; hier aber tritt er nicht auf die nördliche Halbkugel, sondern wendet sich abermals nach Süden, um 160° westl. von Paris ein zweites südliches Maximum von 3° 75′ zu erreichen. Im 174sten Längengrade schneidet er den Erdäquator und bleibt von da auf der nördlichen Halbkugel, um 18° östlich von Paris den Erdäquator abermals zu schneiden. Der magnetische Aequator hat 62° östlich von Paris eine nördliche Breite von 11° 47′; 150° östlich von Paris ist seine nördliche Breite 7° 44′; 130° östlich von Paris ist sie 8° 57′. Diese Angaben reichen hin, um im Allgemeinen die Lage des magnetischen Aequators zu bestimmen

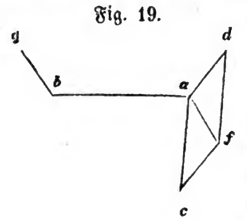
nnd die Unregelmäßigkeit seines Laufs zu zeigen, für die man bis jetzt noch keinen genügenden Grund anzugeben weiß.

9 **Die Wirkung der Erde auf einen Magneten kann als ein System von parallelen und entgegengesetzten Kräften betrachtet werden.** Die Totalwirkung, welche die Erde auf eine Magnetnadel ausübt, ist nur eine richtende, aber keine anziehende, denn wenn letzteres der Fall wäre, so müßte eine Magnetnadel mehr wiegen, als vorher, da sie noch nicht magnetisch gemacht worden war. Wenn man eine Magnetnadel auf einen Kork legt, welcher auf Wasser schwimmt, so stellt sie sich in den magnetischen Meridian, sie zeigt aber kein Bestreben, nach Norden zu schwimmen, wie man vielleicht hätte erwarten können.

Nähert man der schwimmenden Nadel einen Magnet, so findet entweder eine Anziehung oder eine Abstoßung Statt, je nachdem man sich mit dem einen oder dem andern Pol des Magneten nähert; die Nadel schwimmt dem Magneten entweder zu oder von ihm weg. Warum schwimmt nun die Nadel nicht dem magnetischen Nordpol zu, wenn sich doch die Erde nicht anders als ein großer Magnet verhält? Der Grund ist folgender: Die Kraft der magnetischen Anziehung nimmt mit der Entfernung ab, wie wir bald sehen werden. Wenn man nun einen Magneten der schwimmenden Nadel nähert, so sind die beiden Pole der Nadel nicht gleich weit vom genäherten Pol des Magneten entfernt, folglich muß entweder die abstoßende oder die anziehende Kraft überwiegen und mithin auch eine Fortbewegung erfolgen. Der magnetische Nordpol der Erde ist aber nun von der schwimmenden Nadel so außerordentlich weit entfernt, daß die Länge der Nadel gegen diese Entfernung eine völlig verschwindende Größe ist, der eine Pol der Nadel wird also ebenso stark angezogen als der andere abgestoßen wird.

Nehmen wir das Wort Pol in der dritten der oben angegebenen Bedeutungen, nämlich als Mittelpunkt der magnetischen Kraft, so sind wir nicht im Stande, die Lage der magnetischen Pole der Erde zu bestimmen, wir können nur ermitteln, wo ungefähr die magnetische Erdaxe die Oberfläche der Erde trifft, also die beiden Endpunkte des großen Erdmagneten. Welches aber auch die Lage der magnetischen Pole der Erde (der Mittelpunkte der magnetischen Kräfte) seyn mag, so üben doch beide einen Einfluß auf die beiden Pole des Magneten aus. Es sey Fig. 19 eine Magnetnadel, a der eine, b der andere Pol derselben. Der Nordpol der Erde wirkt anziehend auf den Pol a in einer Richtung, die wir nicht ermitteln können, die wir aber durch die Linie $a\,c$ darstellen wollen. Auf denselben Pol a der Nadel wirkt aber der Südpol der

Fig. 19.



Erde abstoßend in der Richtung $a\ d$ (die auch nicht ermittelt werden kann). Weil wir nun in unseren Gegenden dem magnetischen Nordpol der Erde näher sind als dem Südpol, so ist die Anziehung stärker als die Abstoßung; die beiden Kräfte verbinden sich nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte zu einer Resultirenden $a\ f$. Auf den Pol b der Nadel wirkt nun der Nordpol der Erde abstoßend und zwar in derselben Richtung und mit derselben Stärke, wie er den Pol a anzieht; der Südpol der Erde zieht aber den Pol b in derselben Richtung und mit derselben Stärke an, wie er den andern abstößt. Die beiden Kräfte, welche den Pol b angreifen, sind also den beiden in a angreifenden Kräften parallel, gleich und entgegengesetzt, mithin muß auch ihre Resultirende $b\ g$ der Resultirenden $a\ f$ parallel, gleich und entgegengesetzt seyn. Wenn aber die um ihren Schwerpunkt frei drehbare Nadel in ihren Polen von zwei gleichen, parallelen und entgegengesetzten Kräften angegriffen wird, so werden sie nur eine Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt bewirken können, die Nadel befindet sich aber in ihrer Gleichgewichtslage, wenn die magnetische Axe der Nadel, d. h. die Verbindungslinie der Pole a und b in die Richtung der Resultirenden $a\ f$ und $b\ g$ fällt, wenn also auch $a\ f$ in der Verlängerung von $b\ g$ liegt.

Diese Gleichgewichtslage beobachten wir nun an der Inclinationsnadel; die Richtung der Inclinationsnadel fällt mit der Resultirenden der auf die Nadel wirkenden magnetischen Kräfte der Erde zusammen.

Bei der Declinationsnadel ist ein Theil der Wirkung der magnetischen Erdkräfte durch die Art, wie die Nadel aufgehängt ist, aufgehoben, bei der Declinationsnadel kommt nur die horizontale Composante der die Nadel richtenden magnetischen Erdkraft zur Wirkung, und diese horizontale Composante wird natürlicher Weise um so geringer seyn, je mehr die Inclination der Nadel wächst. Je weiter man sich also vom magnetischen Aequator entfernt, um so geringer ist die Kraft, welche die Declinationsnadel richtet.

Messung der Declination und Inclination. Die Beschreibung 10 der Declinationsboussolen, welche man sonst zur genauen Bestimmung der magnetischen Declination anwandte, können wir füglich hier übergehen, weil sie für diesen Zweck wenigstens durch die von Gauß angegebene Methode, vermittelst welcher man die Declination mit astronomischer Genauigkeit messen kann, völlig entbehrlich geworden sind. Was die Anwendung der Boussolen als Winkelmeßinstrumente betrifft, so gehört dies nicht hierher, und die Anwendung der Magnetnadel im Compaß ist hinreichend bekannt, so daß es hier wohl genügt, denselben zu nennen.

Gauß wendet zu seinen Versuchen statt der kleinen Nadeln Magnetstäbe von bedeutenden Dimensionen an. Er wandte Stäbe an, welche 5, ja

solche, welche 25 Pfund wogen. Die Mitte des Stabes steckt in einer Hülse von Messing, welche von einem in der Mitte der Decke der Saals befestigten 200fachen 7 Fuß langen ungedrehten Seidenfaden oder an einem Metallfaden getragen wird. Der Stab trägt an seinem nördlichen oder südlichen Ende einen Planspiegel, dessen Ebene mit der magnetischen Axe des Stabes einen rechten Winkel macht.

Dem Spiegel gegenüber ist in einer Entfernung von 16 Fuß ein Theodolith aufgestellt, ungefähr wie es in Fig. 20 angedeutet ist. Die optische Axe des Fernrohrs ist etwas höher als die Nadel und so abwärts geneigt, daß sie gegen die Mitte des Spiegels gerichtet ist.

Fig. 20.

Am Stativ des Theodolithen ist eine 4 Fuß lange in Millimeter getheilte horizontale Scala befestigt, die auf der Richtung des magnetischen Meridians rechtwinklig steht. Derjenige Punkt der Scala, welcher mit der optischen Axe des Fernrohrs in einer Vertikalebene liegt und hier der Kürze wegen der Mittelpunkt heißen mag, wird durch einen von der Mitte des Objectivs herabhängenden mit einem Gewicht beschwerten feinen Goldfaden bezeichnet. Die Scala ist in einer solchen Höhe befestigt, daß das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr gesehen wird.

Wenn nun die magnetische Axe des Stabes und die Horizontalprojection der optischen Axe des Fernrohrs zusammenfallen, so wird das Bild des Nullpunkts genau in der optischen Axe des Fernrohrs erscheinen. Wenn alle diese Bedingungen erfüllt sind, so ist die Vertikalebene des Fernrohrs auch genau die des magnetischen Meridians, und man hat nun auch auszumitteln, welchen Winkel die Vertikalebene des Fernrohrs mit dem astronomischen Meridian macht.

Wenn aber diese Bedingungen nicht genau erfüllt sind, wenn die Axe des Magneten nicht in die Vertikalebene des Fernrohrs fällt, sondern etwas davon abweicht, so erscheint auch nicht mehr der Nullpunkt der Scala in der Axe des Fernrohrs, sondern irgend ein anderer Theilstrich. Wenn die Entfernung des Spiegels von der Scala genau gemessen ist, so läßt sich der Betrag der Scalentheile leicht in Winkel reduciren. Bei dem eben besprochenen Apparate beträgt 1 Scalentheil 22 Secunden, und da ein nur etwas geübtes Auge ein solches Intervall noch leicht in 10 Theile theilt, so kann man die Abweichung des Stabes von der Vertikalebene des Fernrohrs noch auf 2 Secunden genau ausmitteln und also auch den Winkel,

den die Axe des Stabes mit dem astronomischen Meridian macht, aufs genaueste messen.

Wenn man die Inclination der Magnetnadel messen will, so muß die horizontale Axe der Inclinationsnadel durch den Mittelpunkt eines getheilten Kreises gehen, dessen Durchmesser der Länge der Nadel gleich ist wie Fig. 18. Man kann an diesem getheilten Kreise den Winkel ablesen, welchen die Nadel mit der Horizontalen macht. Wenn diese Ablesung den wahren Werth der Inclination geben soll, so muß natürlich die Nadel mit dem getheilten Kreise sich genau im magnetischen Meridian befinden. Die Construction eines solchen Instrumentes ist außerordentlich delicat, weil es sehr schwer hält, eine Magnetnadel genau in ihrem Schwerpunkt zu unterstützen und um eine horizontale Axe sehr beweglich zu machen. Deshalb kann auch die Inclination mittelst solcher Inclination ungleich weniger genau bestimmt werden, als die Declination.

Die Entdeckung der Inclination wird gewöhnlich einem Engländer Robert Normann zugeschrieben, der wenigstens im Jahr 1576 ein Inclinatorium construirt hat. Schon 33 Jahre früher aber kannte Georg Hartmann, Vicar zu St. Sebald in Nürnberg, die Inclination der Magnetnadel. Ihm ist auch die Entdeckung des Gesetzes zuzuschreiben, daß gleichnamige Polaritäten sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen.

Variationen der Declination und Inclination. Die Declination 11 ist ebenso wenig wie die Inclination unveränderlich, wie man leicht aus den folgenden Tabellen ersieht, welche die Größe der Declination und Inclination angeben, wie sie zu verschiedenen Zeiten in Paris beobachtet wurde.

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30′ östl.	1814	22° 34′ westl.
1618	8 »	1816	22 25 »
1663	0 »	1825	22 22 »
1700	8 10 westl.	1828	22 5 »
1780	19 55 »	1832	22 3 »
1805	22 5 »	1835	22 4 »

Man sieht aus dieser Tabelle

1) daß von 1580 an die Declination sich um mehr als 30° geändert hat.
2) daß sie im Jahr 1663 Null war.
3) daß sie bis 1814 immer nach Westen vorschritt.
4) daß sie von 1814 an eine retrograde Bewegung nach Osten hin erlitten hat.

Die **Inclination** ändert sich ebenso wie die Declination im Laufe der Zeit, wie man aus folgender Tabelle sieht.

Inclination für Paris.

Jahr.	Inclination.	Jahr.	Inclination.
1671	75°	1820	68° 20′
1780	71 48′	1825	68 0
1806	69 12	1831	67 40
1814	68 36	1835	67 24

Wenn auch die früheren Bestimmungen nicht sehr genau sind, so ist doch eine fortwährende Abnahme der Inclination bewiesen.

Die angeführten Veränderungen der Declination und Inclination nennt man seculare Variationen.

Wenn man eine Declinationsnadel aufmerksam beobachtet, so findet man, daß sie fortwährenden Schwankungen unterworfen ist, indem sie sich bald östlich, bald westlich von ihrer mittlern Lage entfernt. Die Schwankungen sind bald zufällig und plötzlich, bald regelmäßig und periodisch. — Die ersteren nennt man **Störungen**, die letzteren **tägliche Variationen**. Im Allgemeinen beobachtet man z. B. in Paris folgenden Gang der täglichen Variationen. Während der Nacht ist die Nadel fast stationär, mit Sonnenaufgang aber fängt das Nordende der Nadel an sich nach Westen zu bewegen. Gegen 5 Uhr Nachmittags erreicht die westliche Ablenkung ihr Maximum, die Nadel geht dann bis 9, 10 oder 11 Uhr Abends nach Osten zurück.

Die **Amplitude** der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwischen dem östlichen und westlichen Stande der Nadel, ist veränderlich; sie ist in den Sommermonaten am größten. Ihr Mittelwerth beträgt vom April bis zum September 13 bis 15 Minuten, vom October bis zum März nur 8 bis 10 Minuten. An manchen Tagen beträgt die Amplitude 25′, an anderen dagegen nur 5′ bis 6′.

Die Mittelwerthe für die Amplitude in verschiedenen Monaten sind nach Beobachtungen in Göttingen folgende:

Januar . .	6,7,	Juli	12,1′
Februar . .	7,4	August. . .	13,0
März . . .	11,9	September	11,8
April. . . .	13,9	October. .	10,3
Mai	13,5	November .	6,9
Juni. . . .	12,5	December .	5,0.

In nördlichen Gegenden sind im Allgemeinen die täglichen Variationen bedeutender und weniger regelmäßig. Auch während der Nacht ist die Nadel weniger stationär; jemehr man sich dagegen dem magnetischen Aequator nähert, desto mehr nimmt die Größe der täglichen Variationen ab, und auf dem magnetischen Meridian selbst ist sie ganz unmerklich.

Südlich vom magnetischen Aequator finden die täglichen Variationen in entgegengesetzter Richtung Statt, d. h. hier bewegt sich das Südende der Nadel nach Westen, während nördlich vom magnetischen Aequator das Nordende sich nach dieser Richtung bewegt; und wenn auf der nördlichen Hemisphäre das Nordende der Nadel sich nach Osten bewegt, so hat auf der südlichen Halbkugel das Südende der Nadel eine östliche Bewegung.

Die Beobachtung der täglichen Variationen erfordert sehr genaue Instrumente. Alle früher angewandten werden in dieser Hinsicht von dem schon eben, Seite 20 angeführten Gaußischen Apparat übertroffen, der die geringsten Veränderungen in der Lage der Magnetnadel angiebt. Mit dem Gaußischen Magnetometer werden bereits an vielen Orten, sowohl in Europa, als auch in anderen Welttheilen an vorausbestimmten Terminen gleichzeitig Beobachtungen angestellt; von diesen Beobachtungen dürfen wir bedeutende Fortschritte unserer Kenntnisse der wunderbaren Störungen des Erdmagnetismus erwarten, namentlich, da sie jetzt auch auf weiter von einander entlegenere Orte ausgedehnt worden sind.

Auch die Inclination ist solchen täglichen Variationen unterworfen, wie dies zuerst Graham im Jahr 1772 beobachtet hat, jedoch ist die Amplitude dieser Variationen geringer als bei der Declination, und sie lassen sich überhaupt bei weitem nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie die Variationen der Declination.

Störungen der Magnetnadel. Es giebt verschiedene Einflüsse, welche 12 plötzlich die Richtung der Magnetnadel ändern und die Regelmäßigkeit der täglichen Variationen stören. Unter allen diesen Einflüssen wirkt das Nordlicht am stärksten. Wenn dieses Meteor am Himmel erscheint, ist die Magnetnadel in beständiger Bewegung und erleidet eine bedeutende Ablenkung. Die Nadel ist aber nicht allein an den Orten bewegt, wo gerade das Nordlicht sichtbar ist, sondern auch noch an weit entfernten Orten, wo man keine Spur des Nordlichts am Himmel sieht. Im allgemeinen jedoch sind die Schwankungen um so stärker, je näher man dem Phänomen ist und je intensiver es erscheint. Wenn man in den Observatorien die Declinationsnadel beobachtet, sieht man sie auf einmal unruhig werden und Schwankungen machen, deren Amplitude mehr als einen Grad beträgt, ohne daß man eine Ursache finden kann; man erfährt dann gewöhnlich bald, daß an anderen Orten die Boussolen ähnlichen Bewegungen unterworfen waren, und daß man in nördlichen Gegenden ein brillantes Nordlicht

beobachtete. So ist ein Beobachter in seinem Cabinet durch seine Boussole von dem unterrichtet, was in den Polargegenden vorgeht. —

Erdbeben und vulkanische Eruptionen scheinen auch auf die Nadel einzuwirken, und manchmal haben sie eine permanente Veränderung ihrer Lage zu Folge. So sah D. Bernoulli im Jahr 1767, daß während eines Erdbebens die Inclination um ½ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, daß sich die Declination um mehrere Grade änderte.

13 **Intensität des Erdmagnetismus.** Einer der wichtigsten Punkte für die Theorie des Erdmagnetismus ist die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde und zu verschiedenen Zeiten. Erst in den neuesten Zeiten sind darüber genaue Untersuchungen angestellt worden. Graham scheint sich zuerst im Jahre 1722 mit dieser Frage beschäftigt zu haben. Borda gab zuerst eine genaue Methode an, um die Intensitäten des Erdmagnetismus verschiedener Orte mit einander zu vergleichen, und Humboldt wandte diese Methode auf seiner Reise nach Amerika, sowie auf einer anderen Reise durch Frankreich, Italien und Deutschland an. Gauß endlich gab eine Methode an, die Intensität der magnetischen Erdkraft auf ein absolutes Maaß zurückzuführen. Seine Arbeiten über diesen Gegenstand gehören unstreitig zu den geistreichsten und ausgezeichnetsten Productionen, deren sich die Wissenschaft je zu erfreuen hatte.

Borda's Methode besteht darin, die Oscillationsdauer einer und derselben Nadel an verschiedenen Orten zu beobachten, und aus der Veränderung der Schwingungsdauer auf die Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus zu schließen. Eine Magnetnadel, eine Declinationsnadel sowohl wie eine Inclinationsnadel, aus ihrer Gleichgewichtslage etwas entfernt und dann sich selbst überlassen, oscillirt wie ein Pendel, und in der That sind auch diese Oscillationen ganz den Gesetzen unterworfen, welche wir oben für das gewöhnliche Pendel kennen gelernt haben; nur ist hier der Magnetismus, dort die Schwere die Ursache der Schwingungen. Wir haben dort gesehen, daß sich die Schwingungszeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften, daß also die beschleunigenden Kräfte sich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten. Wenn also eine und dieselbe Nadel etwa an einem Orte doppelt so schnell oscillirt als am andern, so wäre hier die magnetische Kraft 4mal so groß als dort.

Es sey M die magnetische Kraft, welche an einem Orte die schwingende Nadel beschleunigt, und N die Anzahl der Oscillationen, welche sie in einer gegebenen Zeit, etwa in 5 Minuten, macht; ferner sey m die beschleunigende Kraft, welche an einem zweiten Ort auf dieselbe Nadel wirkt, und n die Zahl der Oscillationen, welche sie in derselben Zeit, also auch in 5 Minuten, macht, so hat man

$$\frac{M}{m} = \frac{N^2}{n^2}$$

Hätte man z. B. am ersten Orte $N = 25$, am zweiten $n = 24$ gefunden, so hätte man

$$\frac{M}{m} = \frac{625}{576} = 1{,}085$$

das heißt, wenn man die magnetische Kraft, welche am zweiten Orte auf die Nadel wirkt, zur Einheit nimmt, so ist diese Kraft am ersten Orte 1,085.

Wenn man nun annehmen kann, daß sich der magnetische Zustand der Nadel von einem Versuch zum andern nicht geändert habe, so findet man auf diese Weise das Verhältniß der erdmagnetischen Kraft für zwei verschiedene Orte der Erde.

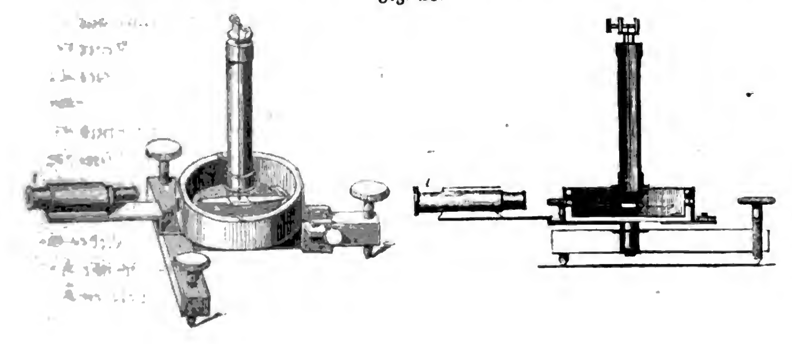
Um die Intensität der ganzen magnetischen Erdkraft für verschiedene Orte mit einander zu vergleichen, muß man zu diesen Oscillationsversuchen natürlich Inclinationsnadeln anwenden. Weil aber Versuche mit diesen immer weniger genaue Resultate geben, so zieht man vor, Oscillationsversuche mit der Declinationsnadel zu machen.

Die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht, ist nur ein Theil der ganzen magnetischen Erdkraft, und zwar ist dieser Antheil um so kleiner, je größer die Inclinationsnadel ist.

Wenn M die in der Richtung der Inclinationsnadel wirkende ganze magnetische Erdkraft ist und mit i der Inclinationsnadel bezeichnet wird, so ist $M \cos. i$ die horizontale Composante derselben, also die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht. Bezeichnet aber m die horizontale Composante der magnetischen Erdkraft, so ist die totale $\frac{m}{\cos. i}$.

Auf Reisen wird häufig die Fig. 21 abgebildete Gambey'sche Intensitätsboussole angewandt, um die Intensität der horizontalen Composante

Fig. 21.



der magnetischen Erdkraft zu bestimmen. Der runde Kasten ist von Holz; er ist oben mit einer Glasplatte versehen und hat außerdem diametral gegenüberstehend in der Seitenwand zwei Fensterchen. Die Oscillationen der Nadel werden durch das Fernrohr *l* beobachtet.

Wenn man die Resultate der Intensitätsbestimmungen zusammenstellt, welche an verschiedenen Orten der Erdoberfläche gemacht worden sind, ergiebt sich das allgemeine Resultat, daß die totale Intensität in der Nähe des magnetischen Aequators am kleinsten ist und daß sie um so mehr wächst, je mehr man sich von demselben nach Norden oder Süden entfernt. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1,5mal so groß als am Aequator. An einem und demselben Orte ist aber die Intensität auch veränderlich und wie die Declination und Inclination täglichen Variationen unterworfen.

Die Schwingungsmethode giebt nur die Verhältnißzahlen der erdmagnetischen Kraft, ohne sie auf ein absolutes Maaß zurückzuführen. Außerdem hat diese Methode noch den Nachtheil, daß man nicht immer sicher seyn kann, daß der magnetische Zustand der Nadel selbst sich nicht geändert habe und man also Gefahr läuft, Veränderungen in diesem Zustand den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft zuzurechnen. Von allen diesen Mängeln ist die Gaußische Methode der Intensitätsbestimmung frei; wir wollen versuchen, die Grundsätze derselben, so weit es auf elementare Weise möglich ist, auseinander zu setzen, müssen dies jedoch für das folgende Kapitel verschieben.

14 **Einfluß des Erdmagnetismus auf das Eisen.** Wenn man eine Stange von weichem Eisen, welche 6 bis 10 Decimeter lang ist, in die Richtung der Inclinationsnadel hält, so wird sie durch den Einfluß des Erdmagnetismus selbst magnetisch und zwar wird ihr unteres Ende ein Südpol, ihr oberes ein Nordpol, wie man leicht sehen kann, wenn man eine kleine empfindliche Magnetnadel bald dem obern, bald dem untern Ende der Stange nähert. Derselbe Pol der Nadel wird von dem einen Ende des Stabes angezogen, von dem andern abgestoßen; man erkennt auf diese Weise sogleich den polarisch magnetischen Zustand des Stabes. Kehrt man den Stab um, so sind sogleich auch seine Pole umgekehrt, das untere Ende ist wieder ein Südpol, das obere wieder ein Nordpol.

Dieselbe Wirkung, nur etwas schwächer, bringt auch der Erdmagnetismus auf eine vertikal hängende Eisenstange hervor, überhaupt auf jede Eisenstange, welchen Winkel sie auch mit der Richtung der Inclinationsnadel macht, nur ist die Wirkung um so geringer, je mehr sie sich von der Richtung der Inclinationsnadel entfernt. Denselben Einfluß äußert der Erdmagnetismus auch mehr oder weniger auf alle Eisenmassen, alles weiche Eisen muß also unter dem Einfluß des Erdmagnetismus einen polaren

Magnetismus annehmen, der sich je nach den Umständen deutlicher oder weniger deutlich nachweisen läßt.

Wenn eine Stange von Eisen durch den vertheilenden Einfluß des Erdmagnetismus selbst zum Magneten gemacht ist, so reichen einige Schläge mit dem Hammer hin, um den Magnetismus zu fixiren und die Stange zu einem bleibenden Magneten zu machen; durch das Schlagen wird also dem Eisen eine Coërcitivkraft ertheilt, welche hindert, daß die durch den Einfluß der Erde im Eisen getrennten magnetischen Fluida sich wieder vereinigen. Dadurch erklärt sich auch, daß fast alle Werkzeuge in der Werkstatt eines Schlossers Magnete sind.

Es scheint, daß auch chemische Veränderungen ähnlich wirken wie mechanische Erschütterungen, um den durch die Erde vertheilten Magnetismus des Eisens zu fixiren, denn man findet, daß Eisenstangen, welche längere Zeit vertikal standen und in dieser Stellung rosteten, einen bleibenden Magnetismus erhalten haben. Ein gewisser Julius Cäsar, Chirurg zu Rimini, beobachtete zuerst im Jahr 1590 an einer Eisenstange des Thurmes der Kirche des heil. Augustin, daß sie durch den Einfluß der Erde magnetisch geworden war. Später, um das Jahr 1630, machte Gassendi dieselbe Beobachtung an dem Kreuze des Thurmes der St. Johanneskirche zu Aix, welches vom Blitze heruntergeschlagen worden war. Es war stark verrostet und hatte alle Eigenschaften eines Magneten. Seitdem haben sich solche Beobachtungnn sehr vermehrt, und man hat allgemein gefunden, daß ein etwas gerostetes Eisen stets ein mehr oder weniger starker Magnet ist.

Wenn man einen Hufeisenmagneten in Eisenfeile taucht, so hängt sich zwischen den Polen ein Bündel derselben an; wenn man sie nun mit etwas Oel befeuchtet und dann zum Glühen erhitzt, während sie noch immer dem vertheilenden Einflusse des Magneten ausgesetzt sind, so geht eine theilweise Oxydation des Eisens vor sich, man erhält eine ziemlich compacte Masse, deren Zusammensetzung der der natürlichen Magnete ähnlich ist und welche ebenfalls bleibend magnetisch ist.

Drittes Kapitel.

Von den Gesetzen und der Theorie des Magnetismus.

Verschiedene Mittel, die magnetischen Kräfte zu messen. 15
Das erste Mittel, welches sich darbietet, die Stücke natürlicher und künstli-

cher Magnete zu vergleichen, besteht darin, sie mit einem Stück Eisen in Verbindung zu bringen, welches man mehr und mehr mit Gewichten belastet, bis es endlich abreißt und auf diese Weise also die Tragkraft des Magneten ermittelt. Dieses Mittel kann nur eine rohe Annäherung geben, wie wir bald sehen werden, es war jedoch das einzige, welches man bis 1780 anwandte.

In dieser Zeit brach Coulomb durch seine schönen Entdeckungen eine neue Bahn in der Wissenschaft. Er gab Methoden an, um die magnetischen Kräfte mit äußerster Genauigkeit zu messen.

Coulomb wandte zwei verschiedene Mittel an, um die Stärke der Magnete zu messen. 1) die Oscillationen einer an einem Seiden- oder Platinfaden aufgehängten Nadel. 2) die Drehung von Kupfer- oder Silberfäden in der Torsionswage, welche man jetzt die Coulomb'sche Drehwage nennt.

16 **Methode der Oscillationen.** Eine Magnetnadel, welche unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirt, kann als ein zusammengesetztes Pendel betrachtet werden, und die absolute Größe der Kraft, welche sie in Bewegung setzt, läßt sich ausmitteln, wenn man das Trägheitsmoment der Nadel in Beziehung auf ihre Anhängungsaxe und die Zahl der Schwingungen kennt, welche sie in einer gegebenen Zeit macht. Wir werden auf diesen Punkt im nächsten Kapitel zurückkehren, wo von der Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus die Rede seyn wird. Die absolute Kraft aber, unter deren Einfluß die Nadel oscillirt, ist ein zusammengesetztes Element, welches zugleich von der Intensität des Erdmagnetismus und dem magnetischen Zustande der Nadel abhängt.

Auf eine oscillirende Magnetnadel lassen sich alle Gesetze der Pendelbewegungen anwenden, woraus sich ergiebt, daß die magnetischen Kräfte, welche auf eine Magnetnadel einwirken, sich umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Schwingungszeiten.

Nehmen wir zwei ganz gleiche, aber ungleich stark magnetisirte Nadeln, so werden diese unter dem Einflusse des Erdmagnetismus nicht gleich schnell oscilliren. Bezeichnen wir mit f die Kraft, welche auf die eine Nadel wirkt, mit t die Anzahl der Sekunden, während welcher eine Oscillation vollendet wird, ferner mit f' und t' die entsprechenden Größen für die andere Nadel, so verhalten sich die Kräfte f und f' umgekehrt wie die Quadrate von t und t', es ist also

$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Hätte z. B. die eine Nadel 6 Sekunden, die andere aber nur 4″ zu ei-

ner Oscillation gebraucht, so könnte man nach diesem Gesetze schließen, daß die magnetische Kraft, welche die letztere beschleunigt, sich zu der der erstern verhält wie 36 zu 16.

Die Schwingungszeit verhält sich offenbar umgekehrt wie die Zahl der Schwingungen, die in einer gegebenen Zeit, etwa in 1 Minute, gemacht werden. Bezeichnet man mit n die Anzahl der Schwingungen, welche die erste der beiden Nadeln in einer Sekunde macht, mit n' die entsprechende Zahl für die zweite Nadel, so hat man

$$\frac{f}{f'} = \frac{n^2}{n'^2}.$$

Wenn außer dem Erdmagnetismus noch ein anderer Magnet auf eine oscillirende Nadel einwirkt, so können dadurch, je nach den Umständen, die Oscillationen schneller oder langsamer werden, als es unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus der Fall gewesen wäre, immer aber läßt sich aus der beobachteten Schwingungsdauer auf das Verhältniß der beschleunigenden Kräfte schließen.

Nehmen wir an, man habe eine an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängte Nadel nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingen lassen und die Schwingungsdauer t beobachtet, und nähere dann der Nadel einen Magneten in der Art, daß dem Nordpol der Nadel der Südpol des Magneten zugekehrt ist, so werden offenbar die Oscillationen schneller werden, die jetzt beobachtete Schwingungsdauer t' ist kleiner als t. Wenn f die Kraft bezeichnet, welche die Nadel beschleunigt, wenn nur der Erdmagnetismus wirkt, f' aber die durch die Annäherung des zweiten Magneten modificirte Kraft, so haben wir wieder

$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Die Drehwage. Wenn ein Metallfaden durch ein angehängtes Gewicht in vertikaler Richtung gespannt ist, so nimmt er eine Gleichgewichtslage an. Wenn man das Gewicht durch Drehung aus dieser Gleichgewichtslage herausbringt, so erleidet der Faden seiner ganzen Länge nach eine Torsion, eine Windung, in Folge dessen er ein Bestreben hat, das Gewicht wieder in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. 17

Coulomb hat zuerst die Torsionskraft studirt und, wie wir schon oben (Band I. Seite 59) gesehen haben, gefunden, daß die Kraft, mit welcher der Draht in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, der Größe der Torsion proportional sey.

Die Coulomb'sche Drehwage ist Fig. 22 dargestellt. Fig. 23 auf der folgenden Seite zeigt den obern Theil in einem größern Maaßstabe. Der verti-

kale Cylinder, in welchem der Faden herabhängt, endet mit einer kreisförmigen Platte $s\,s'$, die in der Mitte durchbrochen ist. Auf dieser Scheibe läßt sich mit sanfter Reibung eine zweite Platte $m\,m'$ drehen. Ein hervorragender Ring der Scheibe $s\,s'$ sichert die centrale Bewegung der Scheibe $m\,m'$. In der Mitte hat die Scheibe $m\,m'$ eine dreieckige Oeffnung, welche so liegt, daß der eine Eckwinkel genau mit dem Mittelpunkt zusammenfällt. In der Spitze dieses Winkels hängt der Faden herab, welcher oben um eine horizontale Axe gewunden ist, die von zwei festen Stücken p und p' getragen wird. Die Platte $s\,s'$ ist in ihrem äußeren Umfange in Grade getheilt, und die Scheibe $m\,m'$ hat einen Index, mittelst dessen man die Größe der vorgenommenen Drehungen ablesen kann.

Fig. 22.

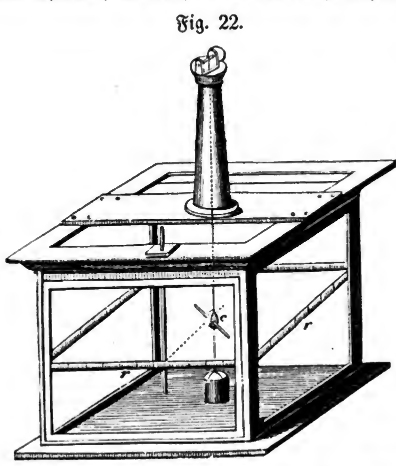


Fig. 23.

Am untern Ende des Fadens hängt eine Art Bügel von Messing, in welchen man die Magnetnadeln oder Stäbe hineinlegt. Am Umfange des Kastens ist ein Papierstreifen aufgeklebt, welcher von Grad zu Grad getheilt ist. Die Größe dieser Abtheilungen ist natürlich nicht gleich; sie ist immer von der Art, daß, wenn man sich von zwei auf einander folgenden Theilstrichen Linien nach dem Mittelpunkte gezogen denkt, dieselben einen Winkel von 1^0 mit einander machen. Der Faden muß genau im Mittelpunkte dieser Theilung hängen.

Wenn das Instrument gehörig justirt ist, bestimmt man die Gleichgewichtslage des Fadens, indem man eine nicht magnetisirte Nadel in den Bügel c legt. Man dreht nun an dem obern Mikrometer so lange, bis der unmagnetische Stab genau in dem magnetischen Meridian liegt; wenn man nun eine magnetisirte Nadel in den Bügel legt, so wird sie durch zwei Kräfte in dieser Lage zurückgehalten, durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus und durch den Faden, welcher bei dieser Lage ohne Torsion ist.

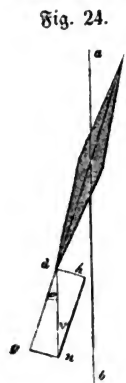
Wenn nun oben das Mikrometer gedreht wird, so würde auch die Nadel dieser Drehung folgen, wenn sie nicht magnetisch wäre. Der Faden strebt

die Nadel in diejenige Lage zu bringen, bei welcher er ohne Torsion seyn würde, der Erdmagnetismus aber zieht sie in den magnetischen Meridian zurück; unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte nun muß die Nadel irgend eine Zwischenlage annehmen, welche von dem Verhältnisse der beiden Kräfte abhängt.

Das Mikrometer, d. h. die Platte $m m'$, sey um 180^0 gedreht und dadurch die Nadel um 20^0 vom magnetischen Meridian abgelenkt worden, so beträgt die Torsion des Fadens $180-20=160^0$. Wenn V die Drehung des Mikrometers, v die Ablenkung der Nadel ist, so ist die Torsion des Fadens $V-v$.

In Fig. 24 sey a b die Richtung des magnetischen Meridians, c d die Lage der aus dem magnetischen Meridian abgelenkten Nadel, so ist leicht zu ermitteln, mit welcher Kraft der Erdmagnetismus die Nadel in die Lage des magnetischen Meridians zurückzuführen strebt. Denken wir uns die ganze auf die Nadel wirkende magnetische Kraft in d applicirt. Die Richtung dieser Kraft ist die des magnetischen Meridians, wir können also diese Kraft der Größe und Richtung nach durch eine Linie d n darstellen. Diese Kraft läßt sich aber in zwei andere zerlegen, deren eine $d g$, in der Richtung der Nadel wirkend, keinen Effect hervorbringen kann, während die andere Composante d h, welche rechtwinklig auf die Richtung der Nadel angreift, dieselbe zu drehen strebt.

Fig. 24.



Bezeichnet m die totale Kraft d n, so ist die Composante d h gleich $m \sin. v$, und dieser Kraft muß die Torsionskraft des Fadens, welche die Nadel nach der andern Seite zu drehen strebt, das Gleichgewicht halten.

Wenn v klein, d. h. wenn es unter 20^0 ist, so kann man ohne merklichen Fehler den Bogen für den Sinus setzen.

Dividirt man den Torsionswinkel des Fadens $V-v$ durch den Ablenkungswinkel v, so erhält man einen Quotienten $\frac{V-v}{v}$, dessen Werth angiebt, wie viel Grade die Torsion des Fadens betragen müsse, um die Nadel um 1^0 abzulenken. Für den vorhin betrachteten Fall ist $V-v=160$ und bei $v=20$, mithin jener Quotient $\frac{160}{20}=8$, d. h. bei dem magnetischen Zustande der Nadel ist die Torsionskraft des Fadens für eine Drehung von 8^0 gerade hinreichend, um der Kraft das Gleichgewicht zu halten, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, wenn sie einen Winkel von 1^0 mit diesem Meridian macht.

Nehmen wir an, dieselbe Nadel, mit welcher der vorige Versuch angestellt worden war, sey stärker magnetisirt worden, man hätte das Mikrometer um 495° drehen müssen, damit die Nadel um 15° abgelenkt wird, so wäre die Torsion des Fadens $495 - 14 = 480°$. Für diesen Fall ist die Torsion des Fadens, welche einer Ablenkung von 1° entspricht, $\frac{480}{15} = 32°$. In dem letztern Falle war also die magnetische Kraft der Nadel 4mal so groß als im erstern.

18 **Die magnetischen Anziehungen und Abstoßungen stehen im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernungen.** Dieses Fundamentalgesetz des Magnetismus war schon früher von einigen Physikern vermuthet worden, allein Coulomb hat die Richtigkeit desselben zuerst mit Hülfe der beiden oben angeführten Methoden nachgewiesen.

1) **Durch Oscillationen.** Eine kleine Magnetnadel wird an einem Coconfaden so aufgehängt, daß sie in horizontaler Ebene frei oscilliren kann, aber vor störenden Luftströmungen hinlänglich geschützt ist. Diese Nadel läßt man zuerst unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren. Es sey n die beobachtete Zahl der Schwingungen in einer Minute, m der horizontale Theil der magnetischen Erdkraft, welche auf sie wirkt.

Nun läßt man den einen Pol eines möglichst stark magnetisirten Stahlstabes auf die Nadel wirken. Dieser Stahlstab wird in den magnetischen Meridian der Nadel $n\,s$ gebracht und zwar in vertikaler Stellung, so daß dem Pol s der Nadel derjenige Pol N des Stabes zugekehrt ist, auf welchen er anziehend wirkt.

Fig. 24.

Der Stab $N\,S$ muß so groß seyn, daß die Entfernung $s\,N$ möglichst klein ist im Vergleich zur Entfernung $s\,S$, daß man also die Wirkung des Pols S auf s ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann.

Bezeichnen wir mit n' die Zahl der Schwingungen der Nadel für den Fall, daß der Pol N des Stabes $N\,S$ aus einer bestimmten Entfernung auf die Nadel wirkt, und mit f' die Kraft, welche nun die oscillirende Nadel beschleunigt, so hat man im Vergleiche mit dem vorigen Versuche

$$\frac{f'}{f} = \frac{n'^2}{n^2}.$$

Hätte die Nadel unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in einer Minute gemacht, hingegen 41, wenn der Pol N des Stabes sich 4 Zoll weit von der Nadel befindet, so hätte man

$$\frac{f'}{f} = \frac{41^2}{15^2}.$$

Man bringt nun den Stab in die doppelte Entfernung, so daß N 8 Zoll weit von der Nadel ist, und beobachtet alsdann die Zahl der Oscillationen; gesetzt, man fände ihre Anzahl in einer Minute $n'' = 24$, so ist, wenn man mit f'' die in diesem Falle auf die Nadel wirkende Kraft bezeichnet,

$$\frac{f''^2}{f^2} = \frac{24^2}{15^2}.$$

Die Größe f' ist offenbar die Summe der erdmagnetischen Kraft und der anziehenden Kraft, welche der Pol N aus einer Entfernung von 4 Zoll auf die Nadel ausübt; letztere ist also offenbar $f' - f$. Ebenso ist die anziehende Kraft, welche der Stab aus einer Entfernung von 8 Zoll auf die Nadel ausübt, $f'' - f$. Durch die Combination der beiden letzten Gleichungen ergiebt sich aber ganz leicht

$$\frac{f' - f}{f'' - f} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4,1.$$

Dieser Versuch zeigt also, daß die anziehende Kraft eines magnetischen Pols in doppelter Entfernung wirklich nahe 4mal schwächer wirkt.

2) **Mit der Drehwage.** Auch für diese Versuche muß man lange magnetische Stahlstäbe oder Drähte anwenden, damit die Wirkung des einen Pols gegen die des andern verschwindend werden könne. Coulomb's Stäbe waren 24 Zoll lang, hatten $1/2$ bis 1 Linie Durchmesser und waren möglichst stark magnetisch. Ein solcher Stab wurde in den Bügeln der Drehwage Fig. 22 gebracht, also horizontal aufgehängt; ein vorläufig angestellter Versuch ergab, daß eine Torsion von 35° nöthig war, um den Stab um 1° von dem Meridian abzulenken. Nun wurde ein zweiter Stab von oben in vertikaler Richtung in den Kasten hineingesteckt und zwar so, daß der nach unten gekehrte Pol den zunächstliegenden des horizontalen Stabes abstieß. Der horizontale Magnetstab kam nun in einer Lage zur Ruhe, welche einen Winkel von 24° mit dem magnetischen Meridian machte.

Bei dieser Lage des hängenden Stabes sind es zwei Kräfte, welche ihn in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben, die Erdkraft und eine Torsion des Fadens von 24°. Da aber für jeden Grad Ablenkung die Kraft, welche den Stab in den Meridian zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 35° gleich ist, so ist die Composante der Erdkraft, welche bei einer Ablenkung von 24° die Nadel zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 24 . 35 oder 840° gleich, wozu noch die 24°, d. h. die Torsion, welche der Faden wirklich hat, addirt werden müssen. Die Totalkraft ist also 864°.

Nun wurde das Mikrometer so gedreht, daß durch die Torsion des

Fadens die horizontale Nadel dem Stabe näher kam. Die Drehung betrug 3mal 360, also 1080°, und dadurch wurde die Nadel auf 17° dem magnetischen Meridian genähert. Dann wurde das Mikrometer noch um 5mal 360° gedreht, so daß also jetzt die Totalumdrehung 2880° betrug. Dadurch wurde der horizontale Stab dem vertikalen auf 12° genähert.

Für die zweite Stellung war das Aequivalent der Erdkraft eine Torsion von $17 . 35 = 595$ Graden. Addirt man dazu die wirkliche Torsion des Fadens $1080 + 17 = 1097°$, so erhält man eine Torsionskraft von 1698° als Maaß für die abstoßende Kraft, welche der untere Pol des eingeschobenen Magneten ausübt.

Auf dieselbe Weise findet man für die dritte Lage die abstoßende Kraft gleich der Torsionskraft von 3312°.

Die Entfernungen in diesen Versuchen verhalten sich also wie 24 : 17 : 12, die entsprechenden abstoßenden Kräfte aber wie 264 : 1698 : 3312, welche letzteren Zahlen sich zu einander sehr nahe umgekehrt verhalten wie die Quadrate der ersteren.

Das eben bewiesene Gesetz bezieht sich streng genommen nur auf die Anziehung und Abstoßung der magnetischen Elemente. Die Gesammtwirkung eines magnetischen Körpers verhält sich aber ganz anders. Die eben angeführten Versuche stellten auch nur deshalb das Gesetz wenigstens annäherungsweise heraus, weil die Anordnung so getroffen war, daß der eine Pol des zu prüfenden Magneten in so großer Entfernung war, daß er die Wirkung des anderen nicht wesentlich modificiren konnte. Ist jedoch diese Bedingung nicht erfüllt, so stellen sich ganz andere Resultate heraus, und wenn die Entfernungen groß genug sind gegen die Dimensionen des Magneten, so verhalten sich die Totalwirkungen desselben sehr nahe umgekehrt wie die dritten Potenzen der Entfernungen.

Dieses Gesetz der Totalwirkung eines Magneten ergiebt sich als nothwendige Folge daraus, daß die Wirkung der magnetischen Elemente auf einander im Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt. Gauß nimmt ganz allgemein an, daß die Wirkung der Elemente auf einander sich umgekehrt verhalte wie die $n$te Potenz der Entfernungen, und beweis't nachher durch Versuche, die auf ganz anderen Principien beruhen als die Coulomb'schen, daß n gleich 2 sey.

Die Wirkung eines Magneten auf einen andern wird sehr durch die gegenseitige Lage beider modificirt. Gauß hat diese Frage ebenfalls ganz allgemein behandelt, wir wollen jedoch nur zwei besondere Lagen ins Auge fassen, nämlich diejenigen, welche für die Versuche die geeignetsten sind.

Betrachten wir nun zuerst den Fall, daß die bewegliche Nadel, auf welche ein fester Magnetstab wirkt, in einer Ebene liegt, welche auf der Richtung dieses festen Magneten rechtwinklig steht und durch seine Mitte

geht. Dies ist bei der Fig. 25 dargestellten gegenseitigen Lage des festen Magnetstabes NS und der beweglichen Nadel ns der Fall. Denken wir uns die magnetische Wirkung der Erde als von einem großen Magneten ausgehend, welcher gerade unter der Nadel liegt, so gehört die gegenseitige Lage der Nadel und des Erdmagneten auch diesem ersten Falle an, und die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel kann also auch mit der Wirkung des Magneten NS (Fig. 25) auf die Nadel ns verglichen werden. Wir werden später von dieser Vergleichung Gebrauch machen.

Fig. 25.

n — s

N — S

In diesem Falle wirkt der Magnetstab NS in der Weise auf die Nadel ns, daß sie sich, wenn keine anderen Kräfte wirkten, parallel mit NS stellen würde. So stellt sich ja auch die Magnetnadel parallel mit dem Erdmagneten.

Dann gehen wir zur Betrachtung des zweiten, Fig. 26 dargestellten, Falles über. Hier liegt die Mitte des beweglichen Magneten ns in der Verlängerung des Stabes NS. In diesem Falle würde sich die Nadel ns ohne Mitwirkung fremder Kräfte in die Verlängerung von NS stellen.

Fig. 26.

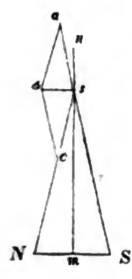
N S — n s

Wir wollen nun untersuchen, mit welcher Kraft der Stab NS die Nadel ns in beiden Fällen zu drehen strebt, wenn die Nadel rechtwinklig auf der durch den Stab bedingten Gleichgewichtslage, also so steht, wie es die Figuren 25 und 26 darstellen.

Erster Fall. Der Pol S, Fig. 27, stößt den Pol s ab, und zwar in der Richtung sa. Bezeichnen wir mit q die abstoßende Kraft, welche diese beiden Pole in der Entfernung 1 auf einander ausüben, so ist $\frac{q}{r^n}$ die abstoßende Kraft, welche sie wirklich auf einander ausüben, wenn ihre Entfernung mit r bezeichnet wird. Hier ist der Werth von n noch unbestimmt gelassen.

Bezeichnen wir die Entfernung sm mit r, so können wir ohne merklichen Fehler auch sS gleich r setzen, wenn mS sehr klein ist im Vergleich zu ms.

Fig. 27.



Die Kraft $\frac{q}{r^n}$, mit welcher der Pol S den Pol s abstößt, kann durch die Linie sa dargestellt werden.

Der Pol N wirkt anziehend auf s, und zwar zieht er ebenso stark an, wie S abstößt, weil S und N gleichweit von s entfernt sind; die anziehende Kraft kann also durch die Linie sc dargestellt werden. Nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte ergiebt sich sb als Resultirende der beiden Kräfte sa und sc. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke NSs und bsa ergiebt sich die Proportion

$$Ss : SN = as : bs.$$

Da nun $Ss = r$, $sa = \frac{q}{r^n}$ ist, so geht jene Proportion über in

$$r : 2a = \frac{q}{r^n} : f,$$

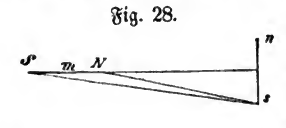
wenn wir mit f den Werth der Resultirenden bs, d. h. die Totalwirkung des Magneten SN auf den Pol s, und mit a die halbe Länge des Magneten bezeichnen; daraus ergiebt sich

$$f = \frac{2aq}{r^{n+1}}.$$

Der Werth f, d. h. die Totalwirkung des Magneten NS auf den andern steht also im umgekehrten Verhältnisse der $(n+1)$ten Potenz von r, und da für den Fall der Wirklichkeit $n = 2$ ist, so ergiebt sich also, daß die Totalwirkung des Magneten NS in demselben Verhältnisse abnimmt, in welchem die 3te Potenz der Entfernung wächst.

Zweiter Fall. Wenn q die Kraft ist, mit welcher der Pol N den Pol s aus der Entfernung 1 anzieht, so ist seine anziehende Kraft für die Entfernung Ns

Fig. 28.



gleich $\frac{q}{(r-a)^n}$, wenn mit r die Entfernung ms und mit a die halbe Länge des Magneten NS bezeichnet wird; die abstoßende Kraft aber, mit welcher S auf s wirkt, ist demnach gleich $\frac{q}{(r+a)^n}$. Wenn ns klein ist im Vergleich zu der Entfernung des andern Magneten, so kann man ohne merklichen Fehler die Richtung der beiden auf s wirkenden Kräfte als gleich und rechtwinklig auf ns annehmen. Demnach ist die Totalkraft, mit welcher der Magnet NS auf s wirkt,

$$F = \frac{q}{(r-a)^n} - \frac{q}{(r+a)^n} = q\,(r-a)^{-n} - q\,(r+a)^{-n} =$$
$$q\,[(r-a)^{-n} - (r+a)^{-n}].$$

Wenn man $(r-a)^{-n}$ nach dem binomischen Lehrsatze in einer Reihe entwickelt, so kommt

$$r^{-n} + n\,r^{-(n+1)}\,a + etc.$$

Der Ausdruck $(r+a)^{-n}$ giebt eine ganz ähnliche Reihe, welche sich von dieser nur dadurch unterscheidet, daß alle Glieder, welche mit ungeraden Potenzen von a behaftet sind, das entgegengesetzte Zeichen haben, wenn man also die Reihe für $(r+a)^{-n}$ abzieht von der Reihe für $(r-a)^{-n}$, so fällt r^n weg und ebenso alle Glieder, welche mit geraden Potenzen von a behaftet sind, während sich die anderen summiren, man erhält auf diese Weise

$$F = 2naqr^{-(n+1)} + etc. = \frac{2naq}{r^{n+1}} + etc.$$

Wenn man alle folgenden Glieder der Reihe gegen das erste vernachläſsigt, so hat man also

$$F = \frac{2anq}{r^{n+1}}.$$

Vergleichen wir diesen Werth F mit dem für die erste Lage gefundenen Werth von f, so ergiebt sich

$$F = nf.$$

Alle vernachlässigten Glieder haben zum Nenner eine Potenz von r, welche höher ist als die $(n+1)$te; wie wir aber gesehen haben, müssen die Glieder ausfallen, deren Nenner r^{n+2}, r^{n+4}, r^{n+6} u. s. w. ist, das nächste Glied der vernachlässigten Reihe hat also r^{n+3} zum Nenner.

Gehen wir nun zu den Versuchen über, welche Gauß anstellte, um den Werth von n zu ermitteln.

Für den Magneten ns wurde der Magnetometerstab angewandt, den wir schon oben (Seite 20) kennen gelernt haben. Südlich von demselben wurde ein anderer ähnlicher Magnetstab so gelegt wie NS, Fig. 25, daß er also rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stand. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Magnete fiel mit dem magnetischen Meridian zusammen. Durch die Einwirkung des Stabes NS wurde das Magnetometer abgelenkt, und da der Ablenkungswinkel klein ist, so kann man recht gut die Größe dieses Winkels für ein Maaß der Kraft nehmen, mit welcher der Magnet NS das Magnetometer zu drehen strebt. Bezeichnen wir den Ablenkungswinkel mit v. Der einer bestimmten Entfernung beider Stäbe entsprechende Werth von v wurde jedoch nicht durch einen Versuch, sondern als Mittel aus 4 Versuchen bestimmt.

Bei der Fig. 25 dargestellten Lage wird der Pol s nach der linken Seite hin abgelenkt werden. Kehrt man aber den Magneten NS so um, daß N dahin zu liegen kommt, wo jetzt S ist, und S dahin, wo jetzt N ist, so wird eine ebenso große Ablenkung nach der rechten Seite erfolgen.

Nachdem die Ablenkungen für die beiden eben erwähnten Lagen ermittelt waren, wurde der Magnetstab in der nämlichen Weise in gleicher Entfernung nördlich vom Magnetometer placirt, und zwar einmal so, daß der Pol N östlich, und dann so, daß derselbe Pol westlich lag; dadurch wurde das Magnetometer wieder einmal östlich und einmal westlich abgelenkt. Den Werth von v mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen, wurde das Mittel aus diesen 4 Beobachtungen genommen.

Es wurde nun eine Reihe solcher Versuche für verschiedene Entfernungen angestellt, die folgende Tabelle enthält die Resultate derselben. In der ersten Columne unter r ist immer die Entfernung der Aufhängungsaxe des Magnetometers von dem Mittelpunkte des Stabes NS in Metern angegeben, die zweite Columne unter v enthält die entsprechenden Ablenkungen.

r	v	v'
1,1m	1° 57′ 24,8″	
1,2	1 29 40,5	
1,3	1 10 19,3	2° 13′ 51,2″
1,4	0 55 58,9	1 47 28,6
1,5	0 45 14,3	1 27 19,1
1,6	0 37 12,2	1 12 7,6
1,7	0 30 57,9	1 0 9,9
1,8	0 25 59,5	0 50 52,5
1,9	0 22 9,2	0 43 21,8
2,0	0 19 1,6	0 37 16,2
2,1	0 16 24,7	0 32 4,6
2,5	0 9 36,1	0 18 51,9
3,0	0 5 33,7	0 11 0,7
3,5	0 3 28,9	0 6 56,9
4,0	0 2 22,2	0 4 35,9

Eine zweite Versuchsreihe wurde gemacht, indem man den ablenkenden Stab in die Lage NS, Fig. 26, gegen die Magnetometernadel brachte. Auch bei dieser Versuchsreihe wurde der jeder Entfernung entsprechende Ablenkungswinkel nicht aus einem, sondern als Mittel aus 4 Versuchen bestimmt. Bei der Lage, wie sie Fig. 26 dargestellt ist, erhielt man eine westliche Ablenkung; dann wurde der Magnet so umgekehrt, daß N an die Stelle von S und S an die Stelle von N kam; dadurch erhielt man eine entsprechende östliche Ablenkung. Nun wurde der Magnet ebenso weit ostwärts vom Magnetometer placirt, und zwar wurde einmal N nach Osten, einmal nach Westen gekehrt, und so erhielt man abermals eine östliche und eine westliche Ablenkung. Aus den 4 so beobachteten Ablenkungen wurde das Mittel genommen. Die eben angeführte Tabelle enthält in der dritten Columne unter v' die Mittelwerthe der Ablenkungen, wie sie bei dieser Versuchsweise für die verschiedenen Entfernungen gefunden wurden.

Schon ein flüchtiger Ueberblick dieser Tabelle zeigt, daß für die größeren Entfernungen die Zahlen der zweiten Columne sich unter einander wirklich sehr nahe umgekehrt verhalten wie die dritten Potenzen der entsprechenden Werthe von r. Dasselbe ergiebt sich auch, wenn man die Zahlen der dritten Columne mit denen der ersten vergleicht. Wir sehen daraus, daß in den oben entwickelten Gleichungen

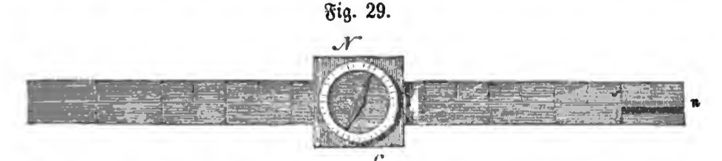
$$f = \frac{2aq}{r^{n+1}} \text{ und } F = \frac{2anq}{r^{n+1}}.$$

der Werth des Exponenten $n+1$ gleich 3 seyn muß, woraus $n=2$ folgt.

Nach unserm oben durchgeführten Raisonnement ist $F = nf$, und da wir $n = 2$ gefunden haben, so folgt, daß, wenn unsere Schlüsse richtig sind, die Zahlen der dritten Columne doppelt so groß seyn müssen als die daneben stehenden der zweiten, was in der That sehr nahe der Fall ist, so daß über die Richtigkeit des Werthes $n=2$ kein Zweifel übrig bleiben kann.

Die Versuche über die Totalwirkung der Magnete lassen sich auch ohne

Fig. 29.



Magnetometer nach W. Weber's Angaben mit einer gewöhnlichen Boussole,

Fig. 30.

die nur in ganze Grade getheilt ist, anstellen, da man noch 10tel Grade schätzen kann. Die Boussole wird auf die Mitte eines etwas breiten Maaßstabes gesetzt, der nur in Decimeter getheilt zu seyn braucht. Will man die Vorrichtung zu Intensitätsbestimmungen auf Reisen anwenden, wozu ihn eigentlich Weber eingerichtet hat, so reicht es hin, wenn der Maaßstab 1 Meter lang ist, sonst ist es gut, ihn 1,4 bis 1,6 Meter lang zu nehmen. Bei einer Versuchsreihe wird der Maaßstab rechtwinklig auf den magnetischen Meridian gelegt, wie Fig. 29 zeigt. Der Magnetstab ns, den man zu den Ablenkungsversuchen anwendet, ist am besten genau 1 Decimeter lang. Wie ihn die Fig. 29 zeigt, ist die Entfernung seiner Mitte vom Mittelpunkte der Nadel 450^{mm}; außerdem beobachtete Weber noch die Ablenkung für die Entfernungen 350^{mm} und 300^{mm}. Es versteht sich von selbst, daß für jede Entfernung auf die schon angegebene Weise 4 Versuche gemacht und aus deren Ergebniß das Mittel genommen wurde.

Für die zweite Versuchsreihe legt man den Maaßstab in die Richtung des magnetischen Meridians und den ablenkenden Magneten rechtwinklig auf denselben. Wiederholt man nun die Versuche, so wird man finden, daß die Ablenkungen jetzt sehr nahe halb so groß sind, als man in der ersten Versuchsreihe für dieselbe Entfernung gefunden hatte.

Der Vollständigkeit wegen ist es sehr zu empfehlen, die Versuche auch noch auf größere Entfernungen auszudehnen.

Zum Behufe magnetischer Intensitätsbestimmungen hat

Weber die Ablenkungen für die in Fig. 29 dargestellte Anordnung und die Entfernungen 450, 350 und 300 Millimeter bestimmt. Die Versuche gaben die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate.

r	v
450	11° 24′ 0″
350	23° 28′ 50″
300	35° 17′ 25″

Die unter v stehenden Ablenkungen sind das Mittel aus 4 Versuchen. Es versteht sich von selbst, daß die Größe der Ablenkung von der Individualität des Ablenkungsmagneten abhängt. Wäre der Magnet $n\ s$ schwächer magnetisirt gewesen, so wären die Ablenkungen geringer ausgefallen.

Diese Resultate bestätigen nun vollkommen unsere oben gemachten Schlüsse über die Totalwirkung von Magneten. Nach den auf S. 36 gemachten Entwickelungen hat der Werth für die Totalwirkung eines Magneten die Form

$$f = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5}.$$

Bei den Gauß'schen Versuchen war die Ablenkung so klein, daß man ohne merklichen Fehler den Ablenkungswinkel für das Maaß der ablenkenden Kraft nehmen kann, bei unseren Versuchen aber ist der Ablenkungswinkel so groß, daß man diese Annahme nicht mehr machen darf. Wie wir früher gesehen haben, ist die Kraft, womit der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzudrehen strebt, $c . \sin . v$; durch ein ganz ähnliches Raisonnement ergiebt sich aber auch, daß, wenn f das Drehungsmoment ist, mit welchem der Ablenkungsstab auf die Nadel wirkt, wenn sie im magnetischen Meridian steht, daß alsdann $f . \cos . v$ das vom Stabe her auf die Nadel wirkende Drehungsmoment sey, wenn die Nadel einen Winkel v mit dem magnetischen Meridian macht. Für den Fall des Gleichgewichts aber ist

$$c . \sin . v = f . \cos . v$$

und daraus

$$\frac{f}{c} = \text{tang. } v$$

$$f = c . \text{tang. } v,$$

woraus man ersieht, daß die ablenkende Kraft des Magneten nicht dem Ablenkungswinkel, sondern der Tangente des Ablenkungswinkels proportional ist, wir können also die Tangente des Ablenkungswinkels als Maaß für die Kraft des ablenkenden Magneten ansehen, für die Tangente des

Ablenkungswinkel gilt also auch Alles, was von der ablenkenden Kraft selbst gesagt wurde, und wir haben also

$$tang.\ v = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5}.$$

Je mehr nun r wächst, desto mehr nähert sich der Werth von $tang.\ v$ dem Werth $\frac{x}{r^3}$. Multiplicirt man auf beiden Seiten mit r^3, so kommt.

$$r^3\ tang.\ v = x + \frac{y}{r^2}.$$

Aus dieser Gleichung sieht man, daß, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit der dritten Potenz der Entfernung multiplicirt, ein Produkt herauskommen müsse, welches sich um so mehr einem Gränzwerthe x nähert, je größer r wird, d. h. für sehr große Werthe von r ist das Produkt $r^3\ tang.\ v$ stets gleich, wie sich der Werth von r auch ändern mag. Je kleiner aber r wird, desto mehr Einfluß bekommt das Glied $\frac{y}{r^2}$, für kleinere Werthe von r wird also auch der Werth des Produktes $r^2\ tang.\ v$ den Gränzwerth x um so mehr übertreffen, je kleiner r ist.

Bei den eben angeführten Weber'schen Versuchen ist nun r so klein, daß es noch einen sehr merklichen Einfluß auf das Produkt $r^3\ tang.\ v.$ ausübt. Aus den angeführten Weber'schen Versuchen berechnet man folgende Werthe von $r^3\ tang.\ v.$

18374000	für die Entfernung	450mm
18625000	» » »	350
19110000	» » »	300.

Wir sehen also, daß für kleinere r jenes Produkt immer größer wird.

Für die folgenden Bestimmungen der Intensität des Erdmagnetismus ist es von der größten Wichtigkeit, den Gränzwerth zu ermitteln, dem sich das Produkt $r^3\ tang.\ v$ immer mehr nähert, je größer r wird.

Für die Entfernung 450mm ist der Werth von $tang.\ v$ gleich 0,20163, wenn wir also die beiden ersten Glieder im Werthe von $tang.\ v$ berücksichtigen, so hat man die Gleichung

$$0{,}20163 = \frac{x}{450^3} + \frac{y}{450^5} \qquad 1)$$

für die Entfernung 300mm ist der Werth von $tang.\ v$ gleich 0,70779, es ist also

$$0{,}70779 = \frac{x}{300^3} + \frac{y}{300^5} \qquad 2)$$

Aus diesen beiden Gleichungen läßt sich nun der Werth von x bestimmen, man findet

$$x = 17784000.$$

Dies würde genau der Gränzwerth seyn, dem sich das Produkt r^3 *tang.* v um so mehr nähert, je größer r wird, wenn die Versuche ganz frei von Beobachtungsfehlern wären. In diesem Falle müßte man auch genau denselben Werth von x finden, wenn man den ersten und zweiten Versuch in der Weise verbindet, wie wir es eben für den ersten und dritten gethan haben. Für die Entfernung 350 ist der Werth von *tang.* v gleich 0,4344, dies giebt die Gleichung

$$0{,}4344 = \frac{x}{350^3} = \frac{y}{350^5}.$$

Combinirt man diese Gleichung mit der Gleichung 1), so kommt

$$x = 17990000.$$

Combinirt man auf dieselbe Weise den zweiten und dritten Versuch, so kommt

$$x = 17310000.$$

Den wahrscheinlichsten Werth von x erhält man, wenn man aus jenen drei Werthen das Mittel nimmt, man findet auf diese Weise

$$x = 17667000.$$

Weber hat nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf eine genauere Weise diesen Werth berechnet und 17530000 gefunden, was mit unserm Resultate nahe zusammenfällt.

19 Nachdem wir die Gesetze, welchen die Wirkung der Magnete in die Ferne folgt, kennen gelernt haben, können wir auch zu den Gauß'schen Untersuchungen über die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus zurückkehren.

Die Gesammtkraft, welche auf eine in horizontaler Ebene schwingende Magnetnadel wirkt, läßt sich aus den beobachteten Schwingungszeiten nach den Gesetzen der Pendelbewegung berechnen. Wie wir im ersten Bande gesehen haben, ist für ein einfaches Pendel

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

wo die Buchstaben t, π, l und g die dort angegebene Bedeutung haben.

Wenn man mit einem physischen, also zusammengesetzten Pendel zu thun hat, so muß für l die Länge des einfachen Pendels gesetzt werden, welches mit dem fraglichen physischen gleiche Schwingungsdauer hat. Wie oben gezeigt wurde, findet man aber diese Länge, d. h. die Entfernung des Aufhängepunktes vom Schwingungspunkte des physischen Pendels, wenn man die Summe der Trägheitsmomente aller materiellen Punkte durch die Summe der statischen Momente der Kräfte dividirt, welche auf die ein-

zelnen Punkte wirken. Bezeichnen wir die Summe der Trägheitsmomente mit K, die jener statischen Momente mit C, so ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

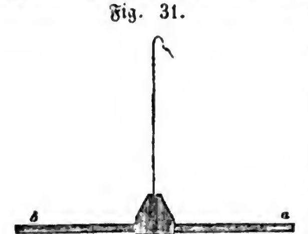
Um die Sache recht anschaulich zu machen, wollen wir die Bedeutung der Buchstaben K und C noch von einer andern Seite betrachten. Die Summe K der Trägheitsmomente der einzelnen materiellen Theilchen, das Trägheitsmoment des Körpers, ist in der That nichts anders als die träge Masse, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte concentrirt seyn müßte, um der Gesammtheit der beschleunigenden Kräfte, welche die Oscillationen bewirken, denselben Widerstand entgegenzusetzen, wie es die träge Masse des Körpers wirklich thut. Die Summe C der statischen Momente ist aber ebenso die Kraft, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte angreifen müßte, um denselben Effect hervorzubringen, wie die Gesammtheit aller Kräfte, die in verschiedenen Entfernungen vom Drehpunkte angreifen.

Wenden wir nun unsere Formel auf einen Magnetstab an, welcher in horizontaler Ebene um eine vertikale Axe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirt. Hier ergiebt sich t aus der Beobachtung, K läßt sich nach Principien der Mechanik berechnen, wenn der Stab eine einfache reguläre Gestalt hat; man kann demnach C nach jener Formel bestimmen, man findet

$$C = \frac{\pi^2 K}{g \cdot t^2}.$$

Gauß wandte zu den Schwingungsversuchen, die er zur Bestimmung der erdmagnetischen Kraft anstellte, das schon beschriebene Magnetometer an, bei welchem Apparate der Magnetstab in einem messingenen Schiffchen liegt, welches mitschwingt. Dadurch ist nun eine genaue Berechnung des Trägheitsmomentes K unmöglich, und es ist deshalb nöthig, diese Größe durch den Versuch auszumitteln, wofür Gauß ein äußerst sinnreiches Verfahren angegeben hat, dessen Auseinandersetzung uns hier zu weit führen würde.

Fig. 31.



W. Weber hat einen ganz einfachen Apparat angegeben, um nach der Gauß'schen Methode die Intensität der erdmagnetischen Kraft zu bestimmen, der besonders Reisenden und solchen zu empfehlen ist, die ein Magnetometer mit allem Zubehör nicht anschaffen und aufstellen können. Der Magnetstab, den Weber anwendet, ist ein möglichst genau gearbeitetes Parallelopiped, welches man, wie Fig. 31 zeigt, in eine kleine Hülse von Papier legen kann, wenn man die Schwin-

gungsversuche machen will. Da die Papierhülse so außerordentlich leicht ist, so wird durch sie das berechnete Trägheitsmoment nicht merklich verändert.

Der Magnetstab, wie ihn Weber anwandte, war 101^{mm} lang, $17{,}5^{mm}$ breit und wog 142 Gramm (es ist bequem, wenn er genau 100^{mm} lang ist). Wie uns die Mechanik lehrt, findet man das Trägheitsmoment eines 4seitigen Prismas in Beziehung auf eine feste Axe, welche durch den Schwerpunkt des Prismas geht und der einen Kante parallel ist, nach der Formel $K = \frac{a^2 + b^2}{12}\, p$, wo a und b die Längen derjenigen Kanten bezeichnen, welche nicht mit der Umdrehungsaxe parallel sind; p ist das Gewicht des Stabes. Für Weber's Magnet war $a = 101^{mm}$, $b = 17{,}5^{mm}$, $p = 142^{gr}$, es ist demnach

$$K = \frac{101^2 + 17{,}5^2}{12}\, 142000 = 124335791{,}66,$$

wenn man das Milligramm zur Gewichtseinheit nimmt. Der fragliche Magnetstab setzt also einer jeden beschleunigenden Kraft, die ihn um seine vertikale Axe zu drehen strebt, einen ebenso großen Widerstand entgegen, wie eine träge Masse von 124335791,66 Milligrammen in der Entfernung 1^{mm} von der Drehaxe.

Die Dauer einer Oscillation, also t, war für diesen Stab 6,67 Sekunden, es ergiebt sich demnach

$$C = \frac{124335791{,}66 \,.\, \pi^2}{g \,.\, 6{,}67^2} = 2812,$$

wenn man für π^2 seinen Werth 9,8696 und für g seinen Werth 9808,8 (Millimeter) setzt.

Die Zahl 2812 drückt die Menge der Milligramme aus, deren Druck unter der Wirkung der Schwere auf einen 1^{mm} langen Hebel gleich ist der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die Axe um ihre vertikale Axe zu drehen strebt, wenn der Stab rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Auf diese Weise ist schon die magnetische Kraft, welche den Stab beschleunigt, auf ein absolutes Maaß zurückgeführt. Damit ist aber der Zweck noch nicht erreicht, man hat noch keinen Werth für die magnetische Erdkraft, denn das Drehungsmoment $C = 2812$ ist noch von der Natur der Nadel abhängig. Wäre der Magnetismus des Stabes stärker oder schwächer entwickelt gewesen, so würde der Werth von C größer oder kleiner geworden seyn; außerdem ist aber auch C der magnetischen Erdkraft proportional, es ist also

$$C = TM,$$

wenn T die magnetische Erdkraft und M den Stabmagnetismus bezeichnet, es ist also für unser Beispiel

$$T \,.\, M = 2812.$$

Wenn es nun gelingt, noch eine andere Relation zwischen den Größen T und M zu finden, wonach man eine zweite Gleichung zwischen T und M bilden kann, so läßt sich M, also gewissermaßen die magnetische Individualität der Nadel eliminiren und ein absoluter Werth für T finden.

Aus den oben angeführten Versuchen über die Wirkung eines Magneten auf eine in horizontaler Ebene frei drehbare Nadel ergiebt sich aber ein Verhältniß zwischen der Kraft des Erdmagnetismus und der Kraft des ablenkenden Magneten, und dies führt uns zur Bestimmung eines numerischen Werthes für den Quotienten $\frac{M}{T}$.

Wir haben gesehen, daß, wenn ein Magnetstab in die Lage gegen eine bewegliche Nadel gebracht wird, wie sie Fig. 30 dargestellt ist, alsdann eine Ablenkung der Nadel erfolgt und daß

$$\frac{f}{c} = tang.\, v,$$

wenn f, c und v die dort angegebene Bedeutung haben. Das Drehungsmoment c hat für die Nadel der Boussole ganz dieselbe Bedeutung, wie C für den Magnetstab, mit welchem die Schwingungsversuche angestellt wurden, es ist also auch

$$c = m\, T,$$

wo T dieselbe Bedeutung hat wie oben, und m für die Nadel dasselbe bezeichnet, was M für den Stab ist. Wir haben demnach

$$\frac{f}{m\, T} = tang.\, v.$$

Das Drehungsmoment f, mit welchem der Magnetstab $n\ s$ die Nadel zu drehen strebt, ist abhängig von der Stärke des Magnetismus der Nadel, von der Stärke des Magnetismus des Stabes und von der Entfernung beider. Wir haben gesehen, daß, wenn die Entfernung einigermaßen groß ist, das Produkt $f\, r^3$ eine constante Größe ist. Dieses Produkt bezeichnet aber nichts anderes als das Drehungsmoment, welches der Stab auf die Nadel ausüben würde, wenn er sich in der Entfernung 1 von ihm befände und seine Wirkung bei dieser Annäherung wirklich in dem Verhältnisse zugenommen hätte, in welchem der Cubus der Entfernung abnahm. Dies Verhältniß zwischen der Wirkung und Entfernung findet nun für kleine Entfernungen in der That nicht mehr Statt, das hindert aber nicht, das auf die Einheit der Entfernung reducirte Drehungsmoment $f\, r^3$ für ein Maaß des Magnetismus des Stabes zu benutzen, da man ja für $f\, r^3$ einen constanten von der Entfernung r ganz unabhängigen Werth hat.

Das reducirte Moment fr^3 ist aber noch abhängig vom Magnetismus des Stabes und dem der Nadel, es ist also gleich einem Produkte $m\,M$, und es bleibt nur noch zu bestimmen, welches die Einheit seyn soll, in welcher m und M auszudrücken sind.

Nehmen wir an, der ablenkende Stab und die Nadel der Boussole seyen vollkommen gleich und auch gleich stark magnetisch; ferner sey dieser Magnetismus gerade so stark, daß das reducirte Drehungsmoment fr^3 gleich ist dem Drucke von 1 Milligramm, welches 1 Millimeter weit vom Drehpunkte der beweglichen Nadel angreift. Die Stärke des Magnetismus nun, welche in diesem Falle in jedem der beiden Magnete entwickelt ist, wollen wir zur Einheit des Magnetismus nehmen. Wäre der Magnetismus des Stabes Mmal und der der Nadel $m$mal so groß, so würde offenbar das reducirte Drehungsmoment, welches bei der bisher betrachteten gegenseitigen Lage der Stab auf die Nadel ausübt, $M\,m$ seyn.

In derselben Einheit ist nun auch die Stärke des Erdmagnetismus, T, auszudrücken. T in Zahlen ausgedrückt, giebt an, wie viel Milligramme an einem Hebelarme von 1 Millimeter angreifend dem Drehungsmomente das Gleichgewicht halten würden, mit welchem der Erdmagnetismus eine rechtwinklig auf dem Meridiane stehende Nadel zu drehen strebt, in welcher die Einheit des Magnetismus entwickelt ist.

Kehren wir jedoch zu unseren Rechnungen zurück. Es ist

$$\frac{f}{m\,T} = tang.\ v,$$

folglich auch

$$\frac{fr^3}{m\,T} = r^3\ tang.\ v.$$

Ferner aber ist $fr^3 = M\,m$, mithin auch

$$\frac{m\,M}{m\,T} = r^3\ tang.\ v,$$

und daraus

$$\frac{M}{T} = r^3\ tang.\ v.$$

Nun aber hat, wie wir gesehen haben, das Produkt $r^3\ tang.\ v$ einen constanten Werth, wenn nur r groß genug ist; und selbst wenn man die Versuche für kleinere Entfernungen gemacht hat, läßt sich der Gränzwerth berechnen, dem sich das Produkt $r^3\ tang.\ v$ um so mehr nähert, je größer r wird.

Für die oben Seite 42 angestellte Versuchsreihe ergab sich für $r^3\ tang.\ v$ der Gränzwerth 17667000. Die dort angeführten Versuche waren aber bei einer andern gegenseitigen Lage des Stabes $n\ s$ und der Nadel angestellt worden, und zwar in einer Lage, bei welcher die Ablenkung der Nadel immer

doppelt so groß ist, als sie in der Lage Fig. 30 gewesen seyn würde, welche wir bei unserer letzten Betrachtung zu Grunde legen müssen. Wir können jedoch das dort gefundene Resultat für unsern Zweck sehr gut gebrauchen, wir haben den für jene Lage erhaltenen Gränzwerth nur mit 2 zu dividiren, um den Gränzwerth für unsere Lage zu erhalten. Wir haben demnach

$$\frac{M}{T} = 8833500.$$

Da nun

$$M\,T = 2812,$$

so kommt

$$T = \sqrt{\frac{2812}{8833500}} = 0{,}017842.$$

Es ist nicht nöthig, erst den numerischen Werth von $M\,T$ und $\frac{M}{T}$ zu berechnen, es läßt sich auch eine Formel für T bestimmen, mit Hülfe deren man für jeden besondern Fall gleich den Werth von T finden kann. Es ist

$$M\,T = \frac{\Pi^2 K}{g\,t^2}$$

und

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang.\, v.$$

Aus der ersten dieser Gleichungen folgt

$$T = \frac{\Pi^2 K}{g\,t^2 M}$$

aus der zweiten

$$T = \frac{M}{r^3 \, tang.\, v.}$$

Multiplicirt man diese beiden Werthe von T mit einander, so kommt

$$T^2 = \frac{\Pi^2 K}{g\,t^2 r^3 \, tang.\, v.}$$

und

$$T = \frac{\Pi}{t} \sqrt{\frac{K}{g \cdot r^3 \, tang.\, v.}}$$

Bei unseren bisherigen Berechnungen haben wir als Einheit der Kraft den Druck angenommen, den eine Masse von 1 Milligramm unter dem Einflusse der Schwere hervorbringt. Dieser Druck selbst ist aber nicht für alle Punkte der Erde derselbe, weil die Intensität der Schwerkraft nicht überall dieselbe ist. In unseren Formeln ist also die Einheit der Kraft selbst eine veränderliche Größe, die man durch eine unveränderliche messen

muß, um die magnetische Intensität auf ein absolutes Maaß zurückzuführen.

Bekanntlich ist g die Endgeschwindigkeit eines frei fallenden Körpers am Ende der ersten Sekunde, oder was dasselbe ist, der doppelte Fallraum der ersten Sekunde. Nehmen wir nun als Einheit der Kraft diejenige an, unter deren Einfluß der doppelte Fallraum der ersten Sekunde nicht g, sondern die Längeneinheit wäre, so würde, wenn diese Kraft statt der Schwere wirkte, die Masse eines Milligramms einen $g$mal geringern Druck ausüben; um also mit dieser Kraft denselben hervorzubringen wie C Milligramme unter der Wirkung der Schwere, müßte man eine Masse von Cg Milligrammen anwenden. Wenn man also diese Einheit der Kraft zu Grunde legen will, hat man den Werth von C, oder was dasselbe ist, den Werth von MT, wie er in den obigen Rechnungen eingeführt wurde, mit g zu multipliciren, d. h. man muß setzen

$$MT = \frac{\Pi^2 K}{t^2}.$$

Combinirt man diesen Werth von MT mit der Gleichung $\frac{M}{T} = r^3 tang.\, v$, so kommt

$$T = \frac{\Pi}{t}\sqrt{\frac{K}{r^3 tang. v}}.$$

In dieser Gleichung ist für K das berechnete Trägheitsmoment des zu den Schwingungsversuchen angewandten Magnetstabes, für t die beobachtete Schwingungszeit und für $r^3 tang. v$ der aus den Ablenkungsversuchen abgeleitete Gränzwerth dieses Produkts zu setzen. Π hat den bekannten Werth 3,14159.

Für die schon oben angegebenen, aus Weber's Beobachtungen genommenen Werthe $t = 6{,}67$, $K = 124335792$ und $r^2\, tang.\, v = 8833500$ ergiebt sich

$$T = 1{,}767.$$

Weber legte, wie schon bemerkt wurde, bei der Berechnung von T den auf etwas andere Weise gefundenen Gränzwerth von $r^3\, tang.\, v$, nämlich 8765000 zu Grunde und fand danach

$$T = 1{,}774,$$

was von unserm Resultate nur um 0,007 abweicht.

Den oben (Seite 47) berechneten Werth von T, nämlich 0,017842, hat man nur mit $\sqrt{g}$, also in Zahlen ausgedrückt mit $\sqrt{9808}$, zu multipliciren, um den zuletzt erhaltenen Werth von T zu erhalten.

Der so bestimmte Werth von T ist nicht der Werth der Intensität der ganzen magnetischen Erdkraft, sondern nur der ihrer horizontalen Composante. Die totale magnetische Erdkraft ist

$$I = \frac{T}{cos. \, i}.$$

Je mehr man sich dem magnetischen Meridian nähert, desto größer wird begreiflicher Weise die horizontale Composante T der erdmagnetischen Kraft. So fand man nach der Gauß'schen Methode den Werth von T

in Göttingen 1,774
in München 1,905
in Mailand . . . . 2,018.

Die bisher besprochene von Weber vereinfachte Beobachtungsmethode zur Berechnung der Intensität des Erdmagnetismus giebt Resultate, welche bis auf die Größe der täglichen Variationen der Intensität genau sind.

Die Intensität des Erdmagnetismus hat ihre täglichen Variationen gerade so wie die Declination und Inclination, erst in neuerer Zeit aber hat man diesem für die Theorie des Erdmagnetismus so wichtigen Elemente eine größere Aufmerksamkeit geschenkt. Gauß hat einen Apparat, das Bifilarmagnetometer, construirt, durch welchen die geringste Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus nachgewiesen und dem Auge ganz in der Weise sichtbar gemacht wird, wie die Variationen der Declination durch das Magnetometer.

Wenn es uns auch zu weit führen würde, die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilarmagnetometers auseinander zu setzen, so müssen wir doch wenigstens das Princip kennen lernen, auf welchem es beruht.

Wir haben gesehen, wie man mit Hülfe des einfachen Magnetometers die Intensität des Erdmagnetismus mit außerordentlicher Genauigkeit ermitteln kann, diese Methode aber ist unbrauchbar, sobald es sich darum handelt, die täglichen Variationen der Intensität zu ermitteln. Unsere Methode zur Bestimmung der magnetischen Intensität beruht auf der Verbindung mehrerer Operationen, welche sämmtlich eine nicht ganz kurze Zeit in Anspruch nehmen, während welcher sich die Intensität ändern kann, man erhält auf diese Weise also nur Mittelwerthe der Intensität, es bleibt ganz verborgen, ob und welche Variationen sie während dieser Zeit erlitten hat.

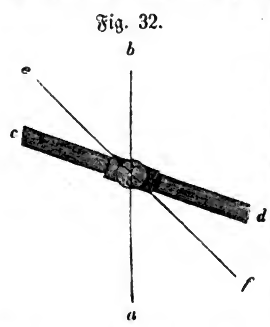
Die Schwingungsdauer eines Magnetstabes, deren genaue Ermittelung namentlich eine etwas längere Zeit in Anspruch nimmt, dient nur dazu, mittelbarer Weise das Drehungsmoment zu bestimmen, welches die erdmagnetische Kraft dem Stabe ertheilt, wenn er sich nicht im magnetischen Meridian befindet. Mit Hülfe des Gauß'schen Bifilarmagnetometers kann man dieses Drehungsmoment auf directem Wege ohne Schwingungsbeobachtungen scharf bestimmen und seine Veränderungen sicher und schnell messen.

Wenn ein Körper, welcher nur durch die Schwerkraft sollicitirt wird, an zwei Fäden aufgehängt ist, so befindet er sich nur dann im Gleichgewichte, wenn die beiden Fäden in einer Ebene liegen, und wenn der Schwerpunkt

des Körpers sich in derselben Ebene zwischen der verlängerten Richtung der beiden Fäden befindet. Sobald man aber den Körper aus dieser Gleichgewichtslage herausdreht, so werden die Fäden gleichsam spiralförmig gewunden, in Folge dessen ein Bestreben entsteht, den Körper in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. Die Größe dieser richtenden Kraft hängt von der Länge der Fäden und ihrer Entfernung ab.

Denken wir uns an zwei parallelen Fäden einen nicht magnetischen Stab aufgehängt, ungefähr wie Fig. 32 zeigt, so wird der Stab eine bestimmte Gleichgewichtslage annehmen, welche davon abhängt, wie der Stab an den Fäden befestigt ist. Es sey *a b* die Richtung des magnetischen Meridians, und die Directionskraft der Fäden, welche in diesem Grundrisse nur als Punkte erscheinen, möge dem nicht magnetischen Stabe die Lage *c d* geben. Substituirt man für den nicht magnetischen Stab einen magnetischen, so wird er sich weder in den magnetischen Meridian, noch in die Richtung *c d* stellen, sondern er wird irgend eine Zwischenlage *e f* annehmen, welche von dem Verhältnisse der richtenden Kraft des Erdmagnetismus und der der Fäden abhängt.

Fig. 32.



Dies ist das Princip des Gauß'schen Bifilarmagnetometers. Der Magnetstab liegt in einem Schiffchen, welches von zwei 17 Fuß langen Stahldrähten getragen wird. Es ist Alles so eingerichtet, daß die Zwischenlage *e f*, welche der Magnetstab wirklich annimmt, nahe einen rechten Winkel mit dem magnetischen Meridian macht. Es ist klar, daß die geringste Aenderung in der Intensität des Erdmagnetismus die Lage des Magnetstabes ändern müsse; wenn sie stärker wird, so nähert er sich dem magnetischen Meridian, wenn sie abnimmt, so entfernt er sich von demselben. Da nun die Intensität des Erdmagnetismus fortwährend variirt, so schwankt der Magnetstab fortwährend in derselben Weise wie der Magnetstab eines einfachen Magnetometers; die Veränderungen in der Lage des Stabes werden auf dieselbe Weise beobachtet wie beim Magnetometer.

20 **Mittheilung des Magnetismus und Bestimmung der Pole.** In einem regelmäßig magnetisirten Stabe ist eigentlich der Magnetismus ganz gleichförmig vertheilt, d. h. in jedem materiellen Theilchen sind die beiden Fluida gleich stark getrennt. Aus dieser Vertheilungsweise geht aber hervor, daß die Stärke der anziehenden und abstoßenden Kraft, welche ein Magnet an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche äußert, nicht überall dieselbe seyn kann. Schon beim Eintauchen in Eisenfeilspähne haben wir das

gesehen; wir haben gesehen, daß die Anziehung an den Enden eines Stabes am größten und daß sie in seiner Mitte gleich Null ist.

Das Gesetz, nach welchem die Stärke der magnetischen Wirkung von den Enden eines magnetischen Stabes nach seiner Mitte hin abnimmt, hat **Coulomb** durch eine Reihe sorgfältiger Versuche ermittelt. Er hing eine kleine ungefähr 1,5 Centimeter lange Probirnadel an einem einfachen Seidenfaden auf und ließ sie zuerst nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren; er näherte alsdann den zu untersuchenden Stab der Nadel in vertikaler Richtung, so daß er sich im magnetischen Meridian der Nadel befand. Wenn er den Südpol des Stabes dem Nordpole der Nadel näherte, so wurden die Oscillationen beschleunigt, allein die Beschleunigung der Nadel war ungleich, je nachdem verschiedene Stellen des Stabes der Nadel gegenüber standen, die Schwingungen wurden nämlich um so langsamer, je mehr die der Nadel gegenüber gehaltenen Stellen sich der Mitte des Magnetstabes näherten. Wenn die Mitte der Nadel dem Stabe gegenüber stand, oscillirte die Nadel gerade so schnell, als ob der Stab gar nicht da wäre. Aus der für jede Stelle des Stabes beobachteten Schwingungsdauer konnte man auf die Stärke ihrer magnetischen Anziehung auf dieselbe Weise schließen, die wir schon oben kennen gelernt haben.

Fig. 33.

Die Resultate seiner Beobachtungen lassen sich, wie Fig. 34 geschehen ist, graphisch darstellen. Es stellt *ma* die eine Hälfte eines Magnetstabes dar, *m* ist seine Mitte, *a* das eine Ende. Die an verschiedenen Stellen errichteten Ordinaten sind der an dieser Stelle beobachteten magnetischen Intensität proportional nach einer beliebigen Einheit aufgetragen. Man sieht, daß am Ende *a* die Intensität am größten ist, daß sie von *a* gegen die Mitte hin anfangs sehr rasch abnimmt und in der Mitte Null wird. Die Kurve hat für alle Stäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt, genau dieselbe Gestalt, so daß in der Mitte ein mehr oder weniger großer Raum sich befindet, für welchen die Intensität so gut wie Null ist. Es geht daraus hervor, daß die Pole aller Magnetstäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt und welche gleich stark sind, in gleichen Entfernungen von den Enden liegen; denn da ein Pol nichts ist als der Angriffspunkt der Resultirenden aller einzelnen anziehenden Kräfte, so muß die Lage dieses Pols immer dieselbe bleiben, so

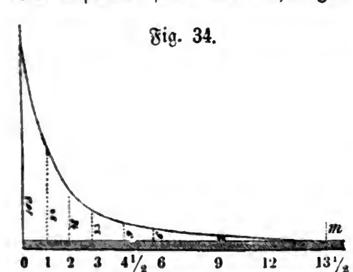


Fig. 34.

lange die in den verschiedenen Punkten angreifenden Kräfte dasselbe Gesetz befolgen.

Für solche längere Stäbe hat Coulomb durch Rechnung gefunden, daß die Pole ungefähr 18 Linien weit von den Enden entfernt liegen. Bei kürzeren Magnetstäben beträgt die Entfernung der Pole von den Enden ungefähr $1/3$ der halben Länge. Bei einem 3 Zoll langen Stabe werden also die Pole etwas mehr als 6 Linien von den Enden entfernt seyn.

Diese Resultate setzen jedoch voraus, daß die übrigen Dimensionen des Stabes im Vergleich zu seiner Länge sehr klein sind, daß sie eine ganz regelmäßige Gestalt haben und daß sie ganz gleichförmig magnetisirt sind. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, lassen sich die Pole nicht mehr theoretisch bestimmen, man muß sie direct mit einer Probirnadel suchen, wenn es etwa darauf ankommen sollte, ihre Lage zu kennen. Bei rautenförmigen Nadeln liegen die Pole der Mitte näher.

Die nach den Enden eines Magnetstabes hin immer stärker werdende magnetische Intensität läßt sich aus der Vorstellung, die man sich von einem Magneten macht (Seite 9), sehr leicht erklären. Es sey Fig. 35 eine Reihe von Partikeln, welche einen Magnetstab bilden. In jedem Partikel sind die beiden Fluida getrennt und auf dieselbe Weise gerichtet. Es befinde sich nun in a ein magnetisches Element, welches mit dem Magnetismus der schwarzen Stellen von gleicher Natur ist. Die eine Hälfte des mit 1 bezeichneten Partikelchens zieht es an, die andere Hälfte stößt es ab, die Anziehung ist aber vorherrschend, weil die weiße Hälfte des Partikelchens 1 dem Punkte a näher liegt. Bezeichnen wir die Resultirende der beiden Kräfte, also die Anziehung, welche das Partikel 1 als Ganzes auf a ausübt, mit r. Das Partikel 2 wirkt ganz auf dieselbe Weise auf das Element in a, nur ist seine Totalwirkung r' wegen der größern Entfernung bedeutend kleiner. Noch kleiner ist die Wirkung r'' des Partikelchens 3 auf das Element in a u. s. w. Die Totalanziehung des Magnetstabes auf das Element a läßt sich also durch die Summe

Fig. 35.

$$S = r + r' + r'' + r''' + etc.$$

darstellen, wo jedes folgende Glied immer kleiner ist als das vorhergehende.

Befände sich das Element, auf welches der Stab wirkt, nicht in a, sondern in b, so würde sich die Wirkung der beiden Partikelchen 1 und 2 offenbar aufheben, das Theilchen 3 ist das erste, dessen Wirkung in Betracht zu ziehen ist; es ist aber von b so weit entfernt wie 2 von a; die Kraft, mit welcher es das Element in b anzieht, ist also ungefähr gleich r', kurz, die Totalwirkung des Stabes auf b ist

$$S' = r' + r'' + r''' + etc.$$

Daß S' schon bedeutend kleiner seyn muß als S, ergiebt sich daraus, daß

man den Werth von S' erhält, wenn man von dem Werthe von S das größte Glied der Summe, nämlich r, wegnimmt.

Befände sich das magnetische Element, auf welches der Stab wirkt, in c, so würden sich die Wirkungen von 1 und 4, von 2 und 3 aufheben. Das Theilchen 5 ist also gewissermaßen das nächste, welches auf c wirkt, und seine Wirkung läßt sich durch r'' ausdrücken, der Totaleffect des Stabes auf e aber durch die Reihe

$$S'' = r'' + r''' + etc.,$$
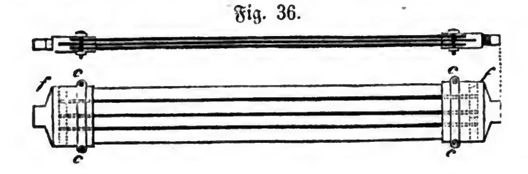
welche wieder bedeutend kleiner ist als S. In der Weise kann man nun fortschließen und findet auch leicht, daß die Wirkung in der Mitte des Stabes gleich Null seyn müsse.

Viertes Kapitel.

Von den verschiedenen Methoden des Magnetisirens und den Ursachen, welche die Coercitivkraft modificiren.

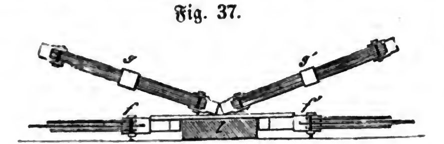
Die Methode von Duhamel oder der getrennte Strich besteht darin, daß man zwei starke Magnetbündel von der Art, wie sie Fig. 36 21

Fig. 36.



dargestellt sind, so legt, daß die Axe des einen Bündels in die Verlängerung der Axe des andern zu liegen kommt, und daß entgegengesetzte Pole einander zugekehrt sind, wie man Fig. 37 sieht, wo f den einen Pol des einen Bündels, f' den ungleichnamigen des andern darstellt. Die zu magnetisirende Nadel legt man nun so, wie man in der Fig. 37 sieht, und unterstützt sie in der

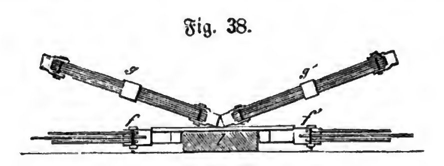
Fig. 37.



Mitte noch durch ein Holzstück l, auf welchem man sie auch noch befestigen

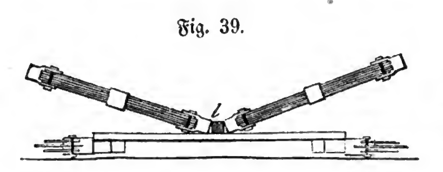
kann, damit keine Verrückung möglich ist. Nun nimmt man die beiden Streichmagnete g und g', den einen in die rechte, den andern in die linke Hand, setzt sie 25 bis 30 Grad gegen die Horizontale geneigt in der Mitte des zu magnetisirenden Stabes auf, streicht alsdann mit langsamer regelmäßiger Bewegung von der Mitte aus gegen die Enden, so daß die Magnetbündel g und g' gleichzeitig an den entgegengesetzten Enden der Nadel ankommen, hier hebt man sie ab, setzt wieder in der Mitte auf und wiederholt dann dasselbe Verfahren mehrere Mal. Es versteht sich von selbst, daß die Streichmagnete die Nadel mit demjenigen Pol berühren müssen, nach welchem man sie hinführt. Diese Methode ist besonders geeignet, um Magnetnadeln für Boussolen oder Stahlstäbe, welche nicht mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, regelmäßig und vollständig zu magnetisiren.

Fig. 38.



22 **Das Verfahren von Aepinus oder der Doppelstrich** ist anzuwenden, wenn die Stahlstäbe mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, denn für diese ist die eben beschriebene Methode unzureichend. Der Doppelstrich wird folgendermaßen ausgeführt. Man legt den zu magnetisirenden Stab auf dieselbe Weise zwischen zwei Magnetbündel wie bei D u h a m e l's Methode und setzt auch die beiden Streichmagnete auf dieselbe Weise in der Mitte auf, nur giebt man ihnen eine noch geneigtere Stellung, so daß sie nur einen Winkel von 15 bis 20 Grad mit der Horizontalen machen. Alsdann streicht man mit ihnen nicht nach den entgegengesetzten Polen, sondern man bewegt beide nach demselben Stabende hin, alsdann zurück den ganzen Stab entlang. Nachdem man sie auf diese Weise z u s a m m e n hinlänglich oft über den Magneten hin und her geführt hat, hebt man sie von der Mitte des Stabes wieder ab. Um diese Operation bequemer zu bewerkstelligen, kann man die beiden Streichmagnete auf einer Art Dreieck von Holz oder Messing befestigen; auf jeden Fall aber muß zwischen den unteren Enden der Streichmagnete ein Zwischen-

Fig. 39.



raum von 5 bis 6 Millimetern seyn, die man am besten durch ein Stückchen Holz, Messing oder Blei sichert, welches in unserer Figur durch l bezeichnet ist.

Der Doppelstrich giebt einen starken Magnetismus; er darf aber zum Magnetisiren von Nadeln für Boussolen und Stäbe, welche zu genauen Untersuchungen dienen sollen, nicht angewendet werden, weil er fast immer ungleich starke Pole giebt und leicht Folgepunkte veranlaßt.

Der Sättigungspunkt. Die Quantität des Magnetismus, welche einem Körper mitgetheilt werden kann, hängt stets von der Stärke der Streichmagnete ab, die Quantität des Magnetismus aber, welche ein Körper behält, hat eine Gränze, welche man den Sättigungspunkt nennt. Eine Nadel z. B., welche nur 100 Schwingungen in 100 Sekunden macht, wenn man sie mit schwachen Stäben magnetisirt, wird schon in 90, 80, 70 u. s. w. Sekunden 100 Schwingungen machen, wenn man sie stärker magnetisirt. Wenn man aber sehr stark magnetisirt hat, so kann es kommen, daß gleich nach der Operation die Nadel einen stärkeren Magnetismus zeigt als später, daß sie also einen Theil ihres Magnetismus wieder verliert. Wenn die magnetische Intensität unter einer gewissen Gränze bleibt, welcher z. B. 100 Schwingungen in 40 Sekunden entsprechen, behält die Nadel ihren Zustand unverändert, d. h. nach Monaten und Jahren macht sie auch noch 100 Schwingungen in 40 Sekunden. Wenn man aber dieser Nadel eine größere Intensität mitgetheilt hätte, so daß sie gleich nach dem Magnetisiren 100 Schwingungen in 30 oder in 20 Sekunden gemacht hätte, so würde ihre Stärke rasch bis zu dem Punkte abnehmen, wo sie wieder 100 Schwingungen in 40 Sekunden macht, und diese Gränze ist der Sättigungspunkt. Es ist klar, daß der Sättigungspunkt einer Nadel oder eines Stabes nur von ihrer Coërcitivkraft und nicht von der Stärke der Magnetstäbe abhängt, die man zum Magnetisiren anwendet. 23

Um zu erkennen, ob eine Nadel bis zum Sättigungspunkte magnetisirt sey, hat man kein anderes Mittel, als sie mit stärkeren Magneten in demselben Sinne von Neuem zu magnetisiren. Wenn sie dadurch bleibend stärker wird, so war sie nicht bis zur Sättigung magnetisirt.

Man könnte vielleicht glauben, daß man durch fortgesetztes Streichen eine Magnetnadel beliebig verstärken könne; aber über eine gewisse Anzahl von Strichen hinaus hilft ein ferneres Streichen nichts mehr, und diese Gränze wird erreicht, wenn der Widerstand der Coërcitivkraft der zersetzenden Kraft des streichenden Magneten gleich ist.

Wenn man eine stark magnetisirte Nadel mit schwachen Magneten streicht, so verliert sie wieder von ihrer Stärke.

Einfluß des Härtens auf die Coërcitivkraft. Den größten Härtegrad giebt man dem Stahle dadurch, daß man ihn hell-rothglühend macht 24

und dann rasch in kaltem Wasser ablöscht. Manchmal löscht man den Stahl auch in Oel, Seifenwasser, Quecksilber u. s. w. ab. Die Verschiedenheit dieser Methoden scheint aber keinen Einfluß auf die Coërcitivkraft des Stahls zu haben.

Der auf diese Weise vollständig gehärtete Stahl hat freilich die größte Coërcitivkraft, er ist also auch eines stärkern Magnetismus fähig als der angelassene Stahl, allein er bricht wie Glas, und es hält oft sehr schwer, ihn regelmäßig zu magnetisiren, weil in demselben leicht Folgepunkte entstehen. Man zieht deshalb für künstliche Magnete den angelassenen Stahl vor, obgleich seine Coërcitivkraft etwas geringer ist.

Das Anlassen des Stahls geschieht dadurch, daß man den glasharten Stahl über Kohlen allmälig erwärmt. Je mehr nun die Hitze steigt, desto mehr verliert sich die ursprüngliche Härte und Sprödigkeit. Bei dem allmäligen Erwärmen nimmt der Stahl auf seiner Oberfläche brillante Farben an, welche, in regelmäßiger Ordnung auf einander folgend, sichtbar werden wie die Temperatur steigt. Zuerst geht die natürliche Metallfarbe in blaßgelb über, bei zunehmender Hitze wird sie orange, dunkelorange, violetroth, dann lebhaft blau, worauf ein lebhaftes grünlich blau, die Wasserfarbe, folgt. Die erste dieser Nüancen entspricht ungefähr einer Temperatur von 200°, die letzte, die Wasserfarbe, einer Temperatur von 450°. Bei noch weiterem Erwärmen geht die Farbe in dunkelroth und dann in helles kirschroth über, wobei sich dann bei langsamem Erkalten alle Härte verliert.

Man hat nun durch Versuche gefunden, daß Stahl, welcher bis zur blauen (wie die Uhrfedern), ja bis zur Wasserfarbe angelassen ist, noch eine hinlänglich starke Coërcitivkraft hat, und daß Stahl von diesem Härtegrade sich am besten für künstliche Magnete eignet.

25 **Einfluß der Wärme auf den Magnetismus.** Wir haben schon gesehen, daß ein natürlicher Magnet sowohl wie ein künstlicher seinen Magnetismus vollständig verliert, wenn man ihn bis zum Weißglühen erhitzt; d. h. nach dem Erkalten bemerkt man an ihm durchaus keine magnetischen Eigenschaften mehr. Diese Beobachtung ist schon von Gilbert gemacht worden. Dadurch verlieren aber die Körper die Eigenschaft nicht, wieder magnetisch zu werden, wenn man sie durch die bekannten Verfahrungsarten wieder magnetisirt. Ihre Coërcitivkraft ist jedoch geändert; die der natürlichen Magnete nimmt ab, ohne daß man im Stande ist, sie in ihrer ursprünglichen Stärke wieder herzustellen, die der künstlichen Magnete ist ganz zerstört, läßt sich aber durch neues Härten vollkommen wieder herstellen.

Die Wiedervereinigung der getrennten magnetischen Fluida geschieht nicht auf einmal bei der Rothglühhitze, sondern nach und nach in dem Maaße

als die Temperatur steigt. Um sich davon zu überzeugen, nehme man einen Magnetstab, dessen Stärke man durch die Oscillationsdauer bestimmt; man erhitze ihn nach einander bis zu verschiedenen Wärmegraden und lasse ihn jedesmal wieder erkalten. Hat man ihn z. B. bis 100° erwärmt, so wird er nach dem Erkalten langsamer oscilliren als vorher. Erwärmt man ihn dann bis auf 200°, so wird man finden, daß sein Magnetismus wieder abgenommen hat u. s. w.

Kupffer hat bemerkt, daß man einen Magneten längere Zeit einer bestimmten Temperatur aussetzen muß, wenn er allen Magnetismus verlieren soll, den er bei dieser Temperatur überhaupt verlieren kann. Eine Magnetnadel z. B., welche mehrmals nach einander 10 Minuten lang in kochendes Wasser gesteckt wurde, verlor erst nach 6 Eintauchungen ihren Magnetismus, soweit es für diese Temperatur möglich war. Um 200 Schwingungen zu machen, brauchte sie vor dem ersten Eintauchen 578 Sekunden, nach dem ersten Eintauchen 637″, nach dem zweiten 642″, nach dem dritten 645″, nach dem vierten 647″, nach dem fünften 650″, nach dem sechsten 652″ und nach dem siebenten Eintauchen endlich wieder 652 Sekunden.

Ein Magnet, bis zu heller Rothglühhitze erwärmt, verliert seinen Magnetismus so vollständig, daß er sich gegen Eisen, gegen einen andern Magneten ganz indifferent verhält. Ebenso wird auch glühendes Eisen von einem Magneten nicht mehr angezogen. Bei dem Eisen giebt es also eine Temperaturgränze, über welche hinaus es für den Einfluß des Magnetismus unempfänglich ist.

Die Betrachtung dieser magnetischen Gränze führt uns auf den Gedanken, daß es auch für andere Körper eine solche magnetische Gränze geben könne, und in der That hat der Versuch diese Erwartung bestätigt, es hat sich ergeben:

1) Daß für Kobalt diese Gränztemperatur noch weit über der Weißglühhitze liegen müsse, denn in den höchsten Temperaturen, welchen man das Kobalt aussetzte, fand man es noch magnetisch;

2) Daß die magnetische Gränze des Chroms etwas unter der Temperatur des Dunkelrothglühens liege;

3) Daß die magnetische Gränze des Nickels ungefähr bei 350°, d. h. in der Nähe des Schmelzpunktes des Zinks liegt;

4) Daß die magnetische Gränze des Braunsteins 20 bis 25° über Null liegt.

Einfluß des Lichtes auf den Magnetismus. Morichini war der erste, welcher behauptete, daß die violeten Strahlen und diejenigen, welche dem violeten Ende des Spectrums nahe liegen, im Stande sind, Stahlnadeln magnetisch zu machen. Viele, welche den Versuch machten, fanden 26

Morichini's Behauptung nicht bestätigt, doch ist jetzt die erwähnte Fähigkeit des violeten Lichts, Stahlnadeln zu magnetisiren, durch Lady Sommerville außer Zweifel gesetzt. Wenn der Versuch gelingen soll, so darf man nicht die ganze Nadel der Wirkung der violeten Strahlen des prismatischen Bildes aussetzen, sondern nur diejenige Hälfte, welche zum Nordpol werden soll, zu welchem Zwecke man die andere Hälfte mit Papier verdeckt. Bei dieser Vorsicht werden die Nadeln in einigen Stunden magnetisch.

Die blauen und grünen Strahlen des Spectrums bringen dieselbe Wirkung hervor, wie die violeten, nur in geringerm Grade; die gelben, orangefarbigen und rothen sind wirkungslos, selbst bei dreitägiger Fortsetzung der Versuche.

Auch Nadeln, welche halb bedeckt unter ein mit Kobalt blau oder grün gefärbtes Glas gelegt und dann der Einwirkung des Sonnenlichts ausgesetzt wurden, erhielten magnetische Eigenschaften. Dieselbe Wirkung erhält man, wenn man eine Nadel zur Hälfte mit einem grünen oder blauen Bande umwickelt dem Tageslichte aussetzt.

27 **Natürliche und künstliche Magnete.** Wir haben schon gesehen, daß man diejenigen Substanzen natürliche Magnete nennt, welche in magnetischem Zustande aus dem Schooße der Erde hervorgeholt werden, künstliche Magnete hingegen die, in welchen man durch irgend eine der angeführten Verfahrungsarten den Magnetismus fixirt. Nachdem wir gesehen haben, wie man Magnete macht, bleibt nur noch übrig zu zeigen, wie man ihre Kraft erhalten kann und wie man sie verbinden muß, um ihre Wirkung zu vermehren.

Man kann einen magnetischen Stab in eine solche Lage bringen, daß der Erdmagnetismus ein Bestreben hat, eine theilweise Vereinigung der getrennten Flüssigkeiten zu bewirken. Wenn man z. B. in unseren Gegenden einen Magnetstab in vertikaler Stellung so hält, daß sein Südende nach unten gekehrt ist, so wird er geschwächt werden, und wenn man ihm in dieser Stellung mehrere Schläge mit einem Hammer gäbe, so würde er nach einiger Zeit ganz schwach, ja endlich sogar seine Pole ganz umgekehrt werden. Um dies zu verhindern, wendet man Armaturen an. Armaturen heißen Stücke von weichem Eisen, welche man mit dem Magneten in Berührung bringt, um sie selbst durch die im weichen Eisen hervorgebrachte magnetische Zersetzung in Thätigkeit zu erhalten. Um Magnetstäbe zu armiren, verfährt man am besten so, wie man aus Fig. 40 sieht. Man legt zwei gleiche Magnetstäbe so parallel neben einander, daß immer der Nordpol des einen nach derselben Seite gerichtet ist wie der

Fig. 40.

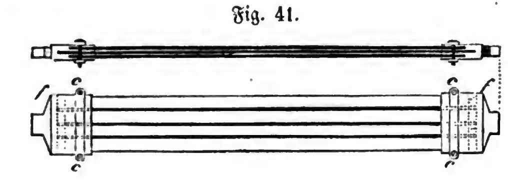
a b c d

Südpol des andern, und fügt dann zwei Stücke von weichem Eisen $a\ b$ und $c\ d$ so an, daß dadurch das Parallelogramm geschlossen wird. Jedes dieser Eisenstücke wird nun natürlich selbst ein Magnet, der auf die Magnetstäbe $N\ S$ und $N'\ S'$ in der Weise zurückwirkt, daß dadurch die getrennten Flüssigkeiten an den entsprechenden Enden fixirt werden.

Magnetnadeln und Magnetstäbe, welche durch den Erdmagnetismus gerichtet sind, sind gewissermaßen durch die Erde armirt.

Ein magnetisches Magazin ist eine Verbindung von mehreren einzelnen Magnetstäben. Fig. 41 zeigt ein solches nach Coulomb's Methode

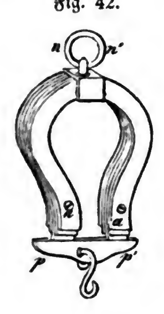
Fig. 41.



construirtes. Es besteht aus 12 einzelnen Magnetstäben, die 3 Schichten, jede von 4 Stäben, bilden. Die Stäbe der mittleren Schicht sind um 2,5 bis 3 Zoll kürzer als die der obern und untern, so daß sie ungefähr 15 bis 18 Linien auf jeder Seite vorsteht. Alle Stäbe haben übrigens vollkommen gleiche Dimensionen und sind in Eisenstücken f befestigt, die als Armatur dienen. Die Messingbänder $c\ c'$ dienen dazu, die Stäbe und Armatur gehörig fest zusammenzuhalten. Solche große Magnetbündel bleiben fest liegen, wenn man sich ihrer zum Magnetisiren bedient. Die kleineren, die man zum Streichen gebraucht, sind nach demselben Principe construirt.

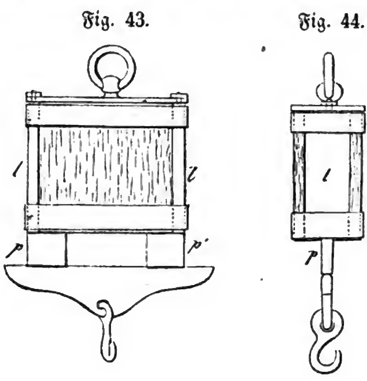
Fig. 42 stellt einen Hufeisenmagnet dar. Er besteht aus mehreren hufeisenförmig gebogenen Stahlplatten, welche unmittelbar auf einander gelegt werden. Zwei Schrauben a und a von Eisen oder Messing halten sie zusammen. Jede Platte wird vor dem Zusammensetzen für sich magnetisirt, indem man das eine Ende auf den Nordpol eines starken Magnetbündels, das andere Ende auf den Südpol eines andern legt und, von der Mitte der Krümmung ausgehend, die Methode des Doppelstriches anwendet. Ein Ring $n\ n'$ dient, um den Magneten aufzuhängen, und ein Stück weiches Eisen $p\ p'$, der Anker, bildet die Armatur. Gute Hufeisenmagnete können das 10- bis 20fache ihres Gewichtes tragen.

Fig. 42.



Die Armatur der natürlichen Magnete ist Fig. 43 und 44 dargestellt.

Fig. 43. Fig. 44.



Die Theile l und l' sind die Flügel der Armatur, pp' die Füße. Man macht die Flügel fast so breit wie den Magneten und ungefähr eine Linie dick. Die Dimensionen der Füße hängen von der Stärke des Magneten ab.

Bei natürlichen Magneten sowohl wie bei künstlichen beobachtet man ein merkwürdiges Phänomen, welches man noch nicht genügend zu erklären weiß, nämlich die Schwäche, welche eine Ueberladung zur Folge hat. Nehmen wir an, ein Magnet könne 20 Kil. tragen. Wenn man nun täglich ein kleines Gewicht zufügt, so kann man seine Tragkraft vermehren, man kann es dahin bringen, daß er 30, daß er 40 Kil. trägt; sobald aber durch ein zu großes Gewicht der Anker abgerissen wird, nimmt die Kraft des Magneten bedeutend ab, er trägt kaum mehr die 20 Kil., von denen man ausgegangen war. Wenn man aber ein geringeres Gewicht anhängt und dasselbe mit Vorsicht nach und nach wieder vermehrt, so kann man es dahin bringen, daß er nach einiger Zeit seine frühere Stärke wieder erhält.

Zweite Abtheilung.

Von der Elektricität.

Erstes Kapitel.

Von den elektrischen Wirkungen.

28

Es giebt Körper, welche durch Reiben die Eigenschaft erlangen, leichte Körper anzuziehen. Man kann sich leicht überzeugen, daß die Körper in ihrem gewöhnlichen Zustande durchaus die Eigenschaft nicht haben, leichte Körper, wie Goldflitter, Sägespähne, Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark u. s. w. anzuziehen. Wenn man aber mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Stange Schwefel oder Siegellack, ein Stück Bernstein u. s. w. reibt, so erlangen diese Körper sogleich jene merkwürdige Eigenschaft. Die anziehende Kraft ist so groß, daß schon in einer Entfernung von mehr als einem Fuß leichte Körper zu dem anziehenden aufgezogen werden (Fig. 45). Die Ursache dieses Phänomens nennt man Elektricität nach dem griechischen Worte ἤλεκτρον, welches Bernstein bedeutet, an welchem die griechischen Philosophen zuerst diese merkwürdige Eigenschaft beobachtet hatten.

Fig. 45.



Um mit Sicherheit entscheiden zu können, ob ein Körper durch Reiben elektrisch wird oder nicht, wendet man Apparate an, welche Elektroskope genannt werden.

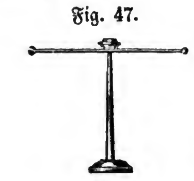
Das einfachste Elektroskop ist das **elektrische Pendel** (Fig. 46). Es besteht aus einer kleinen Kugel von Hollundermark, welche an einem feinen Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man einen Körper prüfen will, so nähert man ihn dem Kügelchen; wird es angezogen, so ist der Körper elektrisch, wird es aber nicht angezogen, so ist er entweder nicht elektrisch oder seine Elektricität ist doch zu schwach, um hier eine Wirkung hervorzubringen.

Fig. 46.

Die elektrische Nadel (Fig. 47 auf folgender Seite) ist etwas empfindlicher als das elektrische Pendel. Sie besteht aus einem Messingdrahte, welcher in zwei metallischen

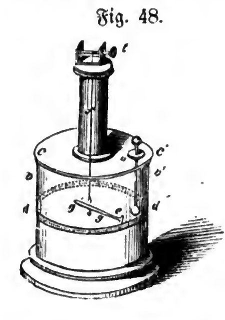
Kugeln endigt, die aber der größeren Leichtigkeit wegen wo möglich hohl seyn müssen. In der Mitte des Drahtes befindet sich ein Stahl- oder Achathütchen, welches auf einer feinen Spitze ruht. Eine geringe elektrische Kraft reicht schon hin, die Nadel in Bewegung zu setzen.

Fig. 47.



Coulomb's Elektroskop (Fig. 48) ist ein sehr empfindlicher Apparat. Ein Schellackstäbchen $g\ g'$, welches an dem einen Ende ein Scheibchen c von Rauschgold trägt, hängt an einem Conconfaden f. Das obere Ende des Fadens f ist um ein horizontales Stäbchen t geschlungen, durch dessen Umdrehung der horizontale Schellackhebel $g\ g'$ nach Belieben gehoben oder niedergelassen werden kann. Ein Glascylinder $v\,v'$ schützt die Nadel $g\,g'$ vor dem störenden Einflusse von Luftströmungen; er trägt einen getheilten Kreis $d\ d'$ und ist oben durch einen Deckel $c\ c'$ verschlossen, in welchem sich eine Oeffnung befindet, durch die man die elektrisirten Körper langsam in den Cylinder hineinsteckt, welche dann das Scheibchen c zuerst anziehen, dann aber abstoßen und dadurch die Nadel drehen, wenn ihre Elektricität nicht stark genug ist, um von außen durch das Glas hindurchzuwirken.

Fig. 48.



Mit Hülfe dieser Apparate kann man untersuchen, in wiefern die verschiedenen Körper durch Reiben elektrisch werden oder nicht. Man findet, daß alle Harze, Bernstein, Schwefel, Glas durch Reiben stark elektrisch werden; Edelsteine, Holz, Kohle geben selten geringe Spuren von Anziehung; Metalle endlich scheinen auf den ersten Anblick durch Reiben gar nicht elektrisch gemacht werden zu können, denn man mag einen Metallstab, den man in den Händen hält, noch so stark reiben, man erhält an allen diesen Apparaten auch nicht die mindesten Spuren von Anziehung. Man zerfällte danach alle Körper in zwei große Klassen, in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nannte man idioelektrische, letztere anelektrische Körper.

Diese Eintheilung beruht jedoch auf einer irrigen Meinung, denn man hat gefunden, daß alle Körper, selbst Metalle, durch Reiben elektrisch gemacht werden können, und wenn man bei vielen durch Reiben keine Spur von Elektricität erhalten kann, so liegt die Ursache davon in anderen Umständen, die wir bald näher werden kennen lernen.

29 **Leiter und Nichtleiter.** Man war früher der Meinung, daß die Körper, welche man mit dem Namen der anelektrischen bezeichnet hatte, auf keinerlei Weise in den elektrischen Zustand versetzt werden könnten. Ein

englischer Physiker Gray machte im Jahre 1727 Versuche mit einer an beiden Enden offenen Glasröhre. Er wollte sehen, ob sie auch elektrisch würde, wenn sie an beiden Enden mit Korkstopfen verschlossen war; in jener Epoche war nämlich die Wissenschaft noch so wenig vorgeschritten, daß man eben in den Tag hinein experimentirte, weil man noch keine Ansicht, noch keine Theorie hatte, welche den Gang der Versuche hätte leiten können. Zu seinem größten Erstaunen fand nun Gray, daß die Stopfen selbst elektrisch geworden waren, obgleich der Kork in die Klasse der anelektrischen Körper gehört. Ein in den Kork gesteckter Metalldraht wurde auch elektrisch, so lang er ihn auch wählen mochte; ja er begab sich mit seiner elektrischen Röhre in das erste, zweite, dritte Stockwerk seines Hauses und ließ den Metalldraht bis auf den Boden herabhängen. Er rieb die Glasröhre, einer seiner Freunde näherte dem untern Ende des Drahtes leichte Körperchen und siehe, sie wurden angezogen. Es folgte daraus, daß die Metalle die Eigenschaft haben, den elektrischen Zustand anzunehmen und fortzupflanzen. Dieselbe Eigenschaft haben aber alle anelektrischen Körper, man nannte sie deshalb **Leiter** der Elektricität. Die idioelektrischen Körper dagegen sind keine Leiter; denn wenn man z. B. einen Glasstab durch Reiben an einem Ende elektrisch macht, so zeigt das andere Ende keine Spur von Anziehung.

Man kann diese Fundamentalwahrheit sehr gut mit Hülfe der Elektrisirmaschine nachweisen, welche wir, ohne noch ihre Einrichtung zu kennen, doch vor der Hand schon als Mittel anwenden können, um Elektricität zu entwickeln. Der Conductor der Maschine ist ein metallischer Körper, welcher elektrisch gemacht wird. Wenn man mit dem in den elektrischen Zustand versetzten Conductor einen langen an Seidenschnüren aufgehängten Metalldraht, oder bequemer einen cylindrischen Metallkörper, der auf einem Glasfuße steht, in Verbindung bringt, so wird das Metall seiner ganzen Ausdehnung nach elektrisch; sobald man es aber durch irgend einen guten Leiter mit dem Boden in Verbindung setzt, verschwindet alle Elektricität augenblicklich.

Es geht daraus auch hervor, daß die Seidenfäden, der Glasstab, Nichtleiter der Elektricität, daß sie **Isolatoren** sind. Ein Leiter der Elektricität kann also nur so lange elektrisch bleiben, als er **isolirt**, d. h. von lauter Nichtleitern umgeben ist. Auch die Luft ist ein Isolator, denn sonst würde die Elektricität von dem Metalle augenblicklich durch die Luft abgeführt werden.

Wasser und Wasserdampf sind gute Leiter, deshalb verliert sich die Elektricität, welche auf einem isolirten Leiter bei trockner Luft lange haftet, sehr schnell, wenn die Luft feucht ist.

Auch der menschliche Körper ist ein guter Leiter. Wenn man, auf dem Boden stehend, den Conductor der Elektrisirmaschine anfaßt, so wird alle

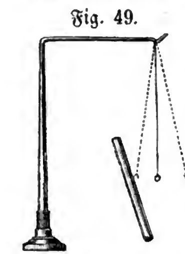
Elektricität, welche durch das Drehen derselben erzeugt wird, sogleich abgeführt, wenn man aber auf einem schlechten Leiter, etwa auf einem Harzkuchen, steht, so wird der ganze Körper elektrisch. Man sieht jetzt auch ein, warum eine Metallstange, die man in der Hand hält, durch Reiben nicht elektrisch wird; alle Elektricität nämlich, welche man durch das Reiben erhält, wird sogleich durch den menschlichen Körper wieder abgeführt.

Die besten Isolatoren werden Leiter, wenn sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt. Es ist deshalb für den Erfolg elektrischer Versuche von der größten Wichtigkeit, Glasfüße, Harzstangen u. s. w., welche einen Leiter isoliren sollen, durch Erwärmen und Reiben gehörig trocken zu machen.

Statt die Körper in Leiter und Nichtleiter einzutheilen, müßte man sie, um genauer zu reden, gute oder schlechte Leiter nennen, denn absolute Nichtleiter giebt es nicht. Schellack, überhaupt Harze, Seide und Glas sind die schlechtesten Leiter, die es giebt; die Metalle hingegen sind die besten Leiter.

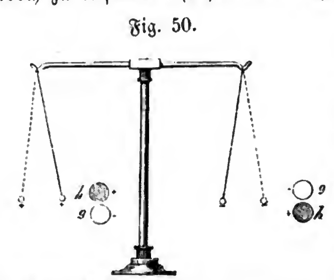
30 **Von den beiden Arten der Elektricität.** Nehmen wir ein einfaches elektrisches Pendel (Fig. 49) zur Hand, dessen Kügelchen an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man eine geriebene Glas- oder Schellackstange nähert, so wird das Hollundermarkkügelchen stark angezogen, es berührt die Stange, bleibt aber nur einige Augenblicke daran haften, um alsbald abgestoßen zu werden. Diese Repulsion rührt von der Elektricität her, welche dem Kügelchen durch die Berührung mit der Stange mitgetheilt worden ist, denn wenn man es mit der Hand berührt und es dadurch wieder auf seinen natürlichen Zustand zurückführt, wird es von Neuem angezogen und nach der Berührung abermals abgestoßen. Daß das abgestoßene Kügelchen wirklich elektrisch ist, geht auch daraus hervor, daß es selbst von Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden (man muß jedoch zu diesem Versuche Leiter wählen), angezogen wird.

Fig. 49.



Wenn man zwei isolirte Pendel nimmt, von denen das eine durch Berührung mit einer Glasstange, die mit Seide gerieben worden war, das andere durch eine mit Pelz geriebene Schellackstange elektrisch gemacht worden ist, so beobachtet man folgende merkwürdige Erscheinung. Das eine Kügelchen, welches durch die Glasstange abgestoßen wird, wird durch die Schellackstange angezogen, das vom Schellack abgestoßene aber

Fig. 50.



wird durch das Glas angezogen. Die Elektricität des geriebenen Glases ist also nicht identisch mit der des Harzes, weil jede das anzieht, was die andere abstößt.

Die beiden Elektricitäten hat man mit dem Namen der Glaselektricität und der Harzelektricität bezeichnet. Die Glaselektricität wird auch die positive, die Harzelektricität die negative genannt. Die Entdeckung der beiden verschiedenen Elektricitäten wurde von Dufay im Jahre 1773 gemacht.

Von den elektrischen Flüssigkeiten und dem natürlichen Zustande der Körper. 31 Wegen der Schnelligkeit, mit welcher sich die Elektricität in den Leitern verbreitet, hat man geschlossen, daß sie eine äußerst bewegliche Flüssigkeit sey, und aus dem Gegensatze der Glas- und Harzelektricität schloß man ferner, daß es zwei solcher Flüssigkeiten gebe, wie es zwei magnetische Fluida giebt. Wenn diese beiden Flüssigkeiten in einem Körper verbunden sind, wenn sie sich in demselben gegenseitig neutralisiren, so ist er in seinem natürlichen Zustande. Wenn in einem Körper aber die beiden E zersetzt werden, so wird er elektrisch, und zwar positiv, wenn die Glaselektricität, negativ, wenn die Harzelektricität vorherrscht. Zwischen den elektrischen und magnetischen Flüssigkeiten findet jedoch ein wesentlicher Unterschied Statt; diese ist in den magnetischen Partikeln gleichsam eingeschlossen, sie kann aus denselben nicht heraustreten, während die elektrischen Fluida frei von einem Körper zum andern übergehen können.

Wenn durch Reiben in einem Körper $+E$ frei gemacht wird, so muß in gleichem Maaße auch $-E$ entwickelt werden. Man kann dies durch einen einfachen Versuch nachweisen. Wenn man irgend zwei Scheiben von verschiedenen Substanzen, deren jede durch einen Glasstab isolirt ist, an einander reibt, so zeigen sie, so lange sie auf einander liegen, keine Spur von Elektricität; sobald man sie aber trennt, ist die eine positiv, die andere ebenso stark negativ elektrisch. Besonders geeignet für diesen Versuch ist es, wenn die eine Scheibe von Glas, die andere aber etwa von Holz und mit einer Lederscheibe überzogen ist, die man mit etwas Amalgam bestrichen hat. Man kann aber auch Scheiben von jeder andern Substanz, Harz, Metall u. s. w. nehmen, und um die Versuche mehr abzuändern, dieselben mit verschiedenen Stoffen, Tuch, Seide, Papier u. s. w. überziehen.

Fig. 51.

Da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden E in gleichem Maaße enthält, so giebt es keinen Grund, anzunehmen, daß er besonders geeignet sey, vorzugsweise die eine aufzunehmen und zurückzuhalten, er kann also auch durch Reiben bald $+$, bald $-$ elektrisch werden, je nachdem man ein anderes Reibzeug wählt. Glas z. B. wird, mit Wolle oder Seide gerie-

ben, positiv, mit einem Katzenpelz gerieben, negativ elektrisch. Um die Flüssigkeiten genau zu bezeichnen, muß man also sagen: die $+E$ ist diejenige, welche das Glas durch Reiben mit Wolle oder Seide annimmt, die $-E$ hingegen diejenige, welche das Harz annimmt, wenn man es mit einem Katzenfelle, mit Wolle oder Seide reibt.

Nehmen wir an, man habe eine Liste verschiedener Körper in der Weise aufgestellt, daß jeder vorangehende, mit allen folgenden gerieben, + elektrisch wird, so wird man bald bemerken, daß die geringste Veränderung der Umstände diese Reihenfolge ändert. Eine Veränderung der Temperatur z. B. kann machen, daß ein Körper in dieser Reihe mehr hinauf oder herunter zu rücken ist. Dieselbe Wirkung hat es oft, wenn man einen Körper mehr polirt oder seine Oberfläche rauher macht. Die Farbe, die Anordnung der Molekůle oder der Fasern, selbst ein mehr oder weniger starker Druck kann analoge Erscheinungen hervorbringen. Ein schwarzes seidenes Band z. B. wird, mit einem weißen seidenen Bande gerieben, immer negativ elektrisch. Selbst wenn man zwei Stücke desselben Bandes kreuzweise reibt, so wird dasjenige, welches festgehalten ist, positiv, das andere negativ elektrisch. Wenn man eine polirte Glasscheibe auf einer mattgeschliffenen reibt, so werden sie ebenfalls entgegengesetzt elektrisch u. s. w.

32 **Mittheilung der Elektricität.** Die freie Elektricität kann sowohl bei unmittelbarer Berührung, als auch auf größere Entfernungen hin von einem Körper zum andern übergehen, immer hängt aber die Mittheilung von der Leitfähigkeit der Körper und der Größe ihrer Oberfläche ab.

Bei der Berührung mit einem elektrisirten Körper nehmen schlechte Leiter die Elektricität nur unmittelbar an der berührenden Stelle auf, sie verbreitet sich nicht über ihre ganze Ausdehnung. Wenn man umgekehrt einen elektrisirten Isolator an einer Stelle berührt, so verliert er nur unmittelbar hier etwas Elektricität, die ganze nicht berührte Oberfläche bleibt nach wie vor elektrisch. Es läßt sich dies sehr leicht mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange zeigen. Bei guten Leitern verhält sich die Sache ganz anders. An einem Punkte, mit einem elektrischen Körper berührt, verbreitet sich die übergegangene Elektricität über den ganzen Leiter, und wenn man einen isolirten elektrisirten Leiter mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, so verliert er augenblicklich alle seine Elektricität.

Auch ohne unmittelbare Berührung kann die Elektricität von einem Körper zum andern übergehen, und man beobachtet dabei das merkwürdige Phänomen des elektrischen Funkens. Wenn man einem geriebenen Glas- oder Schellackstab einen Metallstab oder den Knöchel eines Fingers nähert, so sieht man einen lebhaft glänzenden Funken überspringen und hört dabei ein knisterndes Geräusch. Wenn der elektrisirte Körper ein isolirtes Metall von bedeutender Oberfläche ist, wie der Conductor der Elektrisirma-

schine, so werden die Funken stärker, sie springen unter Umständen schon in einer Entfernung von 12 Zoll über; ihr Licht ist dann blendend hell, und das Geräusch, welches sie begleitet, sehr stark.

Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, hat zuerst den elektrischen Funken beobachtet. Später zeigte Dufay zur allgemeinen Verwunderung, daß man selbst aus dem menschlichen Körper, wie aus dem Conductor der Maschine, Funken entlocken könne.

Um den Versuch zu machen, stellt man sich auf einen Harzkuchen oder auf einen mit Glasfüßen versehenen Schemel (Isolirschemel) und bringt den Körper mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Wenn die Maschine gedreht wird, gewahrt man auf der Haut, namentlich im Gesichte, ein eigenthümliches Gefühl, ungefähr wie wenn man in Spinnengewebe gerathen wäre. Die Haare auf dem Kopfe sträuben sich. Wenn sich dem so elektrisirten menschlichen Körper ein nichtisolirter Leiter, etwa eine andere Person, mit dem Knöchel der Hand nähert, so springt ein Funken über, der für das Gefühl um so empfindlicher ist, auf je größere Entfernung er überspringt.

Wenn die Elektricität von einem isolirten Leiter auf einen andern übergeht, so vertheilt sie sich stets nach dem Verhältnisse der Oberflächen; damit also ein isolirter Leiter alle seine Elektricität verliere, muß man ihn mit einem andern in Berührung bringen, dessen Oberfläche unverhältnißmäßig größer ist, also z. B. mit dem Fußboden, denn dadurch ist er mit der ganzen Erdoberfläche in Verbindung, auf welcher sich seine Elektricität spurlos verliert, eben weil sie sich über eine so ungeheure Fläche gleichmäßig vertheilt. Wenn man eine isolirte elektrisirte Metallkugel mit einer andern gleich großen, gleichfalls isolirten, aber nicht elektrischen in Berührung bringt, so wird erstere gerade die Hälfte ihrer E verlieren. Wenn man dem Conductor der Elektrisirmaschine eine isolirte Metallkugel nähert, so schlagen nur schwache Funken über, während man mit einem nicht isolirten Leiter dem Conductor sehr kräftige Funken entlocken kann.

Fig. 52.



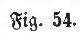
Eine eben ausgelöschte Kerze kann durch den elektrischen Funken wieder angezündet werden. Ebenso kann man Aether und Alkohol durch den elektrischen Funken anzünden; um dies zu bewirken, gießt man die Flüssigkeit in ein Metallgefäß und nähert ihrer Oberfläche den elektrisirten Körper, von welchem der Funken überspringen soll.

Die elektrische Pistole ist Fig. 52 dargestellt. Es ist ein kleines Metallgefäß, welches durch einen Korkstopfen verschlossen ist. Ein Metalldraht, welcher mit zwei kleinen Kugeln b und b' endigt, reicht in das Gefäß hinein,

ohne mit der Wand in leitender Berührung zu stehen. Um dies zu bewirken, ist der Draht durch Siegellack in eine Glasröhre $t\,t'$ und diese in eine Oeffnung der Seitenwand eingekittet. Der elektrische Funke, welcher durch diesen Draht geleitet wird, schlägt von der Kugel b' auf die gegenüberstehende Wand über. Wenn nun das Gefäß mit einem explodirenden Gase, etwa einer Mischung von Wasserstoff und atmosphärischer Luft, gefüllt ist, so bewirkt der Funke die Entzündung, der Stopfen wird unter lautem Knalle fortgeschleudert.

Fig. 53.



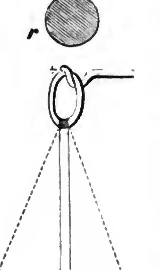


Zweites Kapitel.

Elektricität durch Vertheilung.

33 Wir haben gesehen, daß jede der elektrischen Flüssigkeiten die gleichnamige abstößt und die ungleichnamige anzieht. Diese Anziehung und Abstoßung äußert sich aber nicht allein auf die schon zersetzten Flüssigkeiten, sondern auch auf die noch verbundenen, und daher kommt es, daß die verbundenen Elektricitäten eines Körpers, der sich im natürlichen Zustande befindet, durch die Annäherung eines elektrischen Körpers vertheilt werden.

Fig. 54.



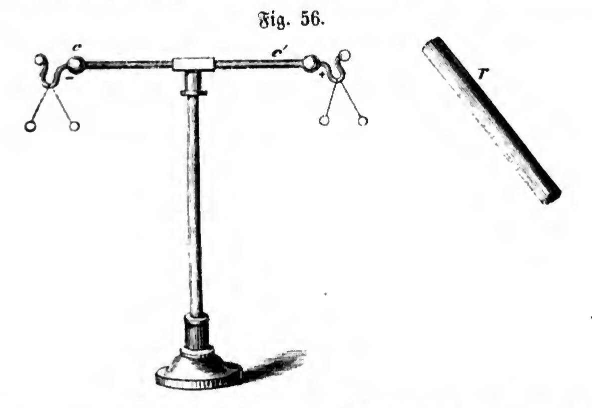
An einem isolirenden Haken sey ein Ring von Metall angehängt, in welchem zwei ganz feine Metallfäden befestigt sind, die runde Kügelchen von Hollundermark tragen. Bei Annäherung eines elektrischen Körpers r fahren die Kügelchen alsbald aus einander, selbst wenn r noch ziemlich weit entfernt ist, ohne daß ein Funken überspringt. Die Divergenz wächst, je mehr man r nähert. Daß dies nicht die Wirkung von übergegangener Elektricität ist, geht daraus hervor, daß die Pendel augenblicklich zusammenfallen, sobald man r entfernt. Die Elektricitäten, welche in dem Metallringe und den Pendeln vor der Annäherung von r verbunden waren, sind getrennt worden, diejenige E, welche mit der in r gleichnamig ist, wird nach den Kugeln abgestoßen, die ungleichnamige nach dem Ringe hinaufgezogen. Der genäherte elektrische Körper r sey eine geriebene Harzstange, also — elektrisch, so wird der Ring + elektrisch, die Kügelchen — elektrisch seyn.

Daß die Elektricitäten wirklich auf diese Weise vertheilt sind, läßt sich durch ein Probescheibchen nachweisen. Ein Probescheibchen ist ein Scheibchen von Rauschgold oder Goldpapier von 1 bis 2 Centimeter Durchmesser, welches an einem langen Stäbchen von Schellack oder einem überfirnißten ganz dünnen Glasstäbchen befestigt ist. Berührt man mit diesem Scheibchen den Ring, während der negativ elektrische Körper *r* sich in solcher Nähe befindet, daß die Pendel divergiren, so wird sich das Probescheibchen mit der Elektricität des Ringes laden, und welche Elektricität dies sey, erfährt man, wenn man es einem einfachen elektrischen Pendel nähert, welchem man schon zuvor Elektricität mitgetheilt hat. Gesetzt, man habe das einfache elektrische Pendel durch Berührung mit einer Glasstange + elektrisch gemacht, so wird es in unserm Falle von dem Probescheibchen abgestoßen, weil dieses, wie der Ring, ebenfalls + elektrisch ist.

Fig. 55.

Der Versuch läßt sich auch noch in folgender Weise anstellen. An jedem der hakenförmig gebogenen Enden eines auf einem isolirenden Glasfuße befestigten Metallstabes sey ein Pendelpaar aufgehängt, dessen Fäden leitend seyn müssen, wozu man ganz dünne Metallfäden oder Leinenfäden nehmen kann. Sobald man einen elektrischen Körper

Fig. 56.

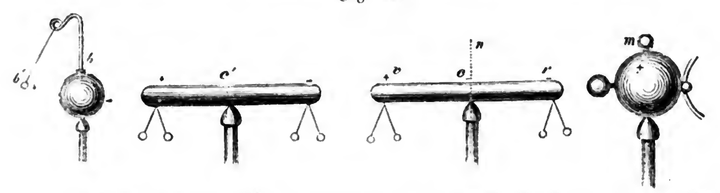


r nähert, divergiren beide Pendelpaare, die Kugeln des einen aber sind mit positiver, die des andern mit negativer Elektricität geladen. Sobald man *r* entfernt, fallen die Pendel wieder zusammen, weil sich die getrennten Elektricitäten sogleich wieder verbinden.

Ein durch Vertheilung elektrisirter Körper wirkt seinerseits auch wieder vertheilend auf andere, die ihm hinlänglich genähert werden, die sich also in

seiner Wirkungssphäre befinden, und diese Wirkungen können sich auf ziemliche Entfernungen fortpflanzen. Man braucht nur einen Blick auf die Fig. 57 zu werfen, um zu sehen, welche Anordnung man etwa treffen kann,

Fig. 57.



um dies durch den Versuch nachzuweisen; *m* ist der Conductor einer Elektrisirmaschine, *c* ein isolirter Metallcylinder, *c'* ein zweiter, *b* eine Metallkugel und *b'* ein Hollundermarkkügelchen.

Wenn man einen isolirten Leiter, welcher durch Vertheilung elektrisch gemacht ist, mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, während der elektrische Körper durch seine Nähe noch vertheilend wirkt, so wird alle abgestoßene Elektricität in den Boden abgeführt, und der isolirte Leiter ist nur noch mit der Elektricität geladen, welche vom vertheilenden Körper *r* angezogen wird. Wenn man alsdann die leitende Verbindung mit dem Boden wieder aufhebt und dann *r* entfernt, so ist nun der isolirte Leiter geladen, und zwar seiner ganzen Ausdehnung nach mit derselben Elektricität.

Der Apparat Fig. 54, in eine zweckmäßigere Form gebracht, giebt ein treffliches Elektroskop ab. Man hat vor Allem dafür zu sorgen, daß die Pendel sich in einem Glasgefäße befinden, damit äußere Einflüsse, wie Luftströmungen u. s. w., nicht störend einwirken, und dann muß das leitende System sorgfältig isolirt seyn. Die Pendel können aus Strohhalmen, Hollundermarkkügelchen, die an feinen Metallfäden hängen, oder Metallblättchen bestehen. Ganz besonders sind die im Folgenden näher beschriebenen, nach Buff's Angabe construirten Elektrometer als zweckmäßig zu empfehlen.

Fig. 58.



Ein Messingstab, welcher, mit einer isolirenden Schicht umgeben, in den Hals eines Glasgefäßes eingelassen ist, hat oben eine Schraube, auf welche man nach Belieben eine Messingkugel oder eine Metallplatte aufschrauben kann. Am untern Ende sind am Stabe zwei Blättchen Rauschgold befestigt. Damit man die Einrichtung deutlicher sehen könne, ist dieser Stab mit seinem Isolirungssysteme Fig. 59 (a. f. S.) in $1/3$ der natürlichen Größe dargestellt. Er ist nämlich an zwei Stellen mit Seide umwickelt und in eine Glasröhre gesteckt, welche innen und außen mit einer

dünnen Schicht von Schellack überzogen ist. Auf diese Weise ist das Metall durch eine Luftschicht und an zwei Stellen durch Seide von dem ebenfalls nicht leitenden Rohre getrennt. Die Seidenumwickelung ist so dick, daß man den Metallstab in der Röhre mit einiger Reibung nach Belieben etwas auf- und niederschieben kann.

Fig. 59.



Diese Elektrometer sind weniger geeignet, schwache Elektricitäten sichtbar zu machen, als vielmehr Versuche über die Gesetze der Elektricität anzustellen, wo man hinlänglich starke Elektricitäten anwenden kann. Für manche dieser Versuche ist es zu empfehlen, zwei ganz gleiche Apparate dieser Art zu haben.

Ein empfindlicheres Elektroskop, welches nach denselben Principien construirt ist und auch als Elektrometer dienen kann, ist Fig. 60 in $1/6$ der natürlichen Größe dargestellt. Der abgeschlossene Raum, in welchem die Pendel hängen, ist durch Platten von Spiegelglas gebildet, welche an den Kanten luftdicht verkittet sind. Unter dem Boden dieses Raumes, welcher in der Mitte eine Oeffnung hat, kann von der Seite eine Schieblade eingeschoben werden, welche möglichst dicht schließen muß, und in welcher einige Stücke Chlorcalcium liegen, durch welche die Luft im Apparate trocken erhalten wird. Die Pendel bestehen aus Goldblättchen; im übrigen ist der Apparat wie der vorige construirt.

Fig. 60.



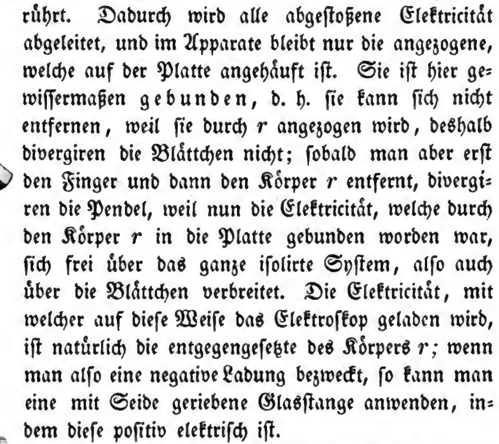
Das Strohhalmelektrometer wurde von Volta, das Goldblattelektrometer von Bennet zuerst angegeben.

Der durch Fig. 54 dargestellte Versuch kann auch mit den eben beschriebenen Elektroskopen angestellt werden. Wenn man von oben einen elektrischen Körper, etwa eine geriebene Glasstange, nähert, so divergiren die Pendel; die Natur der Elektricität, welche in der obern Platte angesammelt ist, kann man durch Probescheibchen ermitteln, sie ist die entgegengesetzte von derjenigen des genäherten Körpers r.

Wenn man untersuchen will, von welcher Natur die Elektricität irgend eines Körpers sey, so muß das Elektroskop schon im Voraus mit einer

bekannten Elektricität geladen werden; dies geschieht, indem man einen Körper r von bekannter Elektricität nähert und die Platte mit dem Finger berührt. Dadurch wird alle abgestoßene Elektricität abgeleitet, und im Apparate bleibt nur die angezogene, welche auf der Platte angehäuft ist. Sie ist hier gewissermaßen gebunden, d. h. sie kann sich nicht entfernen, weil sie durch r angezogen wird, deshalb divergiren die Blättchen nicht; sobald man aber erst den Finger und dann den Körper r entfernt, divergiren die Pendel, weil nun die Elektricität, welche durch den Körper r in die Platte gebunden worden war, sich frei über das ganze isolirte System, also auch über die Blättchen verbreitet. Die Elektricität, mit welcher auf diese Weise das Elektroskop geladen wird, ist natürlich die entgegengesetzte des Körpers r; wenn man also eine negative Ladung bezweckt, so kann man eine mit Seide geriebene Glasstange anwenden, indem diese positiv elektrisch ist.

Fig. 61.



Nähert man dem so geladenen Elektroskop einen elektrischen Körper, so wird dadurch die Divergenz der Pendel entweder vergrößert oder verkleinert werden. Sie wird vergrößert, wenn die E des zu untersuchenden Körpers mit derjenigen gleichnamig ist, welche man dem Apparate mitgetheilt hatte, denn durch seine Annäherung werden die Elektricitäten des Elektroskops noch vollständiger zersetzt als es schon vorher der Fall war, es wird noch mehr von der Elektricität, welche schon in den Pendeln war, in dieselben heruntergetrieben, ihre Divergenz muß also zunehmen.

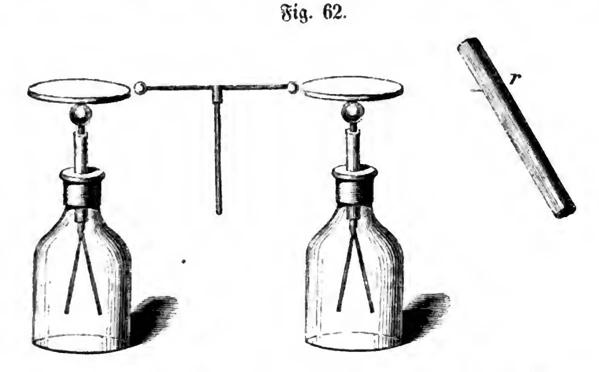
Wenn der genäherte Körper mit derjenigen E ungleichnamig ist, welche man dem Elektroskope mitgetheilt hatte, so nimmt die Divergenz ab, weil die Elektricität jetzt aus dem Pendel weg und in die Platte gezogen wird. Wenn man den Apparat mit irgend einer E geladen hat, so befinden sich doch noch unzersetzte Elektricitäten im Apparate, die durch den genäherten Körper zersetzt werden; ist nun die E des genäherten Körpers mit der im Elektroskope vorhandenen ungleichnamig, so wird die schon vorhandene in die Platte gezogen, die andere in die Pendel getrieben, die Divergenz muß also abnehmen. Bei einer bestimmten Entfernung des genäherten Körpers werden sich die Elektricitäten in den Pendeln gerade neutralisiren, die Pendel werden vollständig zusammenfallen. Wenn man den zu prüfenden Körper noch mehr nähert, so divergiren die Pendel von Neuem, aber nun mit der entgegengesetzten von der E, welche sie vorher divergiren machte.

Wenn man einem geladenen Elektroskope einen nicht elektrischen Leiter

nähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ebenfalls ab. Es ergiebt sich dies leicht als nothwendige Folge der Gesetze der elektrischen Vertheilung.

Wenn man zwei gleiche Elektroskope durch einen isolirten Leiter verbindet und dem einen einen elektrischen Körper *r* nähert, so divergiren die Pendel

Fig. 62.



in beiden, und zwar im einen mit +, im andern mit — *E*. Nimmt man nun den verbindenden Leiter weg (begreiflicher Weise muß man ihn dabei an dem isolirenden Griffe anfassen), so können die Pendel nicht wieder zusammenfallen, wenn man auch den Körper *r* wieder entfernt, welcher die Vertheilung bewirkte, weil die getrennten Elektricitäten keinen Weg haben, auf welchem sie wieder zu einander übergehen könnten. Daß die Elektricitäten in beiden Apparaten entgegengesetzter Natur sind, kann man daraus erkennen, daß, wenn man einen und denselben elektrischen Körper bald dem einen, bald dem andern Elektroskope nähert, in dem einen die Divergenz zunimmt, während im andern die Pendel zusammenfallen.

Die oben beschriebenen Anziehungserscheinungen finden durch die Gesetze der elektrischen Vertheilung nun auch ihre Erklärung. Wenn einem Körper, der sich im natürlichen Zustande befindet, ein elektrischer genähert wird, so werden seine Elektricitäten zerlegt. Dies ist nun auch bei dem Korkkügelchen des einfachen elektrischen Pendels der Fall. Ist es an einem Seidenfaden aufgehängt, so kann die abgestoßene *E* nicht aus dem Kügelchen entweichen, sie wird auf die hintere Seite des Kügelchens getrieben, während sich die angezogene auf der Vorderseite anhäuft. Weil aber die angezogene *E* dem Körper, von welchem die Wirkung ausgeht, näher ist, so ist die Anziehung stärker als die Abstoßung; die Kraft, welche das Kügelchen gegen den elektrischen Körper hintreibt, ist der Differenz dieser beiden entgegengesetzten Kräfte gleich, darum wird auch hier erst bei sehr geringer Entfernung des elektrischen Körpers eine Anziehung erfolgen. Weit energischer ist die Wir-

kung, wenn das Kügelchen an einem leitenden Faden aufgehängt ist, weil alsdann die abgestoßene E entweichen kann und durch sie die Anziehung nicht geschwächt wird.

Ein Kügelchen von Schellack wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers nicht angezogen, weil der genäherte Körper nur sehr schwere Vertheilung in demselben hervorbringen kann. Es ist dies eine Erscheinung, welche der ganz analog ist, daß ein Magnet in einem Stück weichen Eisen eine magnetische Vertheilung hervorbringt, in einem Stück Stahl aber ungleich schwieriger.

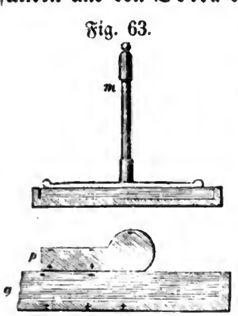
34 **Dualisten und Unitarier.** Die Anhänger der bisher entwickelten Theorie, nach welcher es zwei verschiedene elektrische Fluida giebt, an deren Spitze Symmer steht, werden mit dem Namen der Dualisten bezeichnet, im Gegensatze zu den Unitariern, welche nach Franklin und Aepinus nur ein elektrisches Fluidum annehmen. Von diesem Fluidum muß in jedem Körper eine bestimmte Menge enthalten seyn, wenn er sich im gewöhnlichen Zustande befindet. Ein Ueberschuß dieses Fluidums bedingt den positiv elektrischen, ein Mangel den negativ elektrischen Zustand; die einzelnen Theilchen dieser elektrischen Flüssigkeit stoßen sich einander ab, die Körpertheilchen aber ziehen sich an. Diese Theorie erklärt allerdings die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung und die gegenseitige Abstoßung positiv elektrischer Körper ganz gut, zur Erklärung der gegenseitigen Abstoßung negativ elektrischer Körper muß sie aber die höchst unwahrscheinliche Hilfshypothese zur Hand nehmen, daß die aller elektrischen Flüssigkeit beraubten Körpertheilchen sich einander gleichfalls abstoßen. Der Schwierigkeiten wegen, auf welche man bei der Erklärung mancher elektrischen Erscheinungen nach der Theorie der Unitarier stößt, ist sie gegenwärtig wohl fast von allen Physikern verlassen, indem sie sich der Dualistischen Ansicht zugewendet haben.

Vor mehreren Jahren hat auch Faraday die Grundzüge einer neuen Theorie der elektrischen Erscheinungen bekannt gemacht, nach welcher die Elektricität keine Wirkung in die Ferne ausüben soll; die vertheilende Wirkung, welche ein elektrischer Körper durch isolirende Körper hindurch ausübt, erklärt er durch einen polaren Zustand der Theilchen der die Leiter trennenden nichtleitenden Substanzen. Faraday, welcher sonst um die Elektricitätslehre so große Verdienste hat, entwickelt seine Ansicht ebenso weitläufig als unklar. Was aber besonders zur Verwirrung der Begriffe beiträgt, ist der Umstand, daß er eine Menge Versuche beschreibt, deren Resultat sich nach den bisherigen Ansichten voraussehen ließ, während er sie doch als Argumente gegen dieselben anführt. Da Faraday's neue Theorie in ihrer jetzigen Form wenigstens noch nicht im Stande ist, eine so klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen zu geben, wie die bisher entwickelte, so kann hier wohl eine nähere Besprechung derselben unterbleiben.

35

Das Elektrophor ist einer der wichtigsten elektrischen Apparate und kann in vielen Fällen selbst die Elektrisirmaschine ersetzen. Es ist von Wilke erfunden und von Volta verbessert worden. Es besteht aus einem Harzkuchen, welcher, wie Fig. 63 zeigt, in eine metallene Form, gleichsam einen Teller von Metall, gegossen ist, oder auch aus einem Harzkuchen, den man nur auf eine etwas größere Platte von Metall auflegt. Es ist sehr wesentlich, daß die Oberfläche des Harzkuchens möglichst eben sey. Auf diesen Harzkuchen, dessen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsschwanze oder einem Katzenpelze negativ elektrisch gemacht wird, setzt man einen mit einer isolirenden Handhabe m versehenen Deckel von Metall platt auf. Die $-E$ des Harzkuchens wirkt vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten im Deckel, die $+E$ wird angezogen, die $-E$ aber abgestoßen, die $+E$ wird sich deshalb im untern, die $-E$ im obern Theile des Deckels anhäufen. Nähert man dem Deckel den Knöchel eines Fingers, so springt ein Funken über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, so wird alle $-E$ sich entfernen und der Deckel sich nur mit $+E$ laden, die aber durch die $-E$ des Harzkuchens gebunden ist, so lange der Deckel auf demselben liegen bleibt. Hebt man aber den Deckel von dem Kuchen ab, indem man ihn an der isolirenden Handhabe anfaßt, so wird diese $+E$ frei, und man kann nun aus dem Deckel einen Funken positiver Elektricität ziehen.

Fig. 63.



Wenn der Harzkuchen frei auf eine Metallplatte aufgelegt ist, so hat man weniger zu fürchten, daß der Kuchen bei eintretendem Temperaturwechsel springt, was wegen der ungleichen Ausdehnung des Metalls und des Harzes bei eingegossenen Kuchen leicht der Fall ist. Die beste Masse für ein Elektrophor ist Schellack, mit etwas venetianischem Terpentin versetzt.

Für die Metallplatte, auf welche man den Harzkuchen legt, kann man eine Zinkplatte nehmen. Der Deckel ist in der Regel von Messing und mit einem abgerundeten Rande versehen. Man kann jedoch auch Deckel von Glas, Holz oder Pappe anwenden, die mit Staniol überzogen sind; nur muß dafür gesorgt seyn, daß die untere Fläche, welche auf den Harzkuchen zu liegen kommt, wie dieser selbst, möglichst eben sey. Statt der isolirenden Handhabe von Glas kann man an dem Deckel auch drei Schnüre von Seide befestigen.

Wir haben oben nun gezeigt, wie es kommt, daß dem Deckel des Elektrophors eine Ladung positiver Elektricität ertheilt werden könne, ohne daß

die Rede davon war, welche Rolle die Form oder die untere Metallplatte dabei spielt. Wenn man den Harzkuchen auf eine isolirende Unterlage, etwa auf eine Glastafel, legte, so würde es nicht möglich seyn, so starke Ladungen zu erhalten, wie es der Fall ist, wenn der Kuchen eine leitende Unterlage hat. Durch das Schlagen mit dem Pelze kann nämlich nur so lange Elektricität entwickelt werden, bis eine gewisse Gränze der Ladung des Kuchens erreicht ist, über welche Gränze hinaus jede neu entwickelte $-E$ des Kuchens sogleich wieder zu ihrem Gegensatze in Pelz übergehen würde. Wenn aber der Harzkuchen auf einer leitenden Unterlage liegt, so wirkt die $-E$ des Kuchens vertheilend auf dieselbe, die $-E$ der Form wird abgestoßen, die $+E$ angezogen. Die $+E$ der Form aber zieht auch die $-E$ des Kuchens an und trägt dazu bei, dieselbe auf dem Kuchen zurückzuhalten. Wenn man einen Harzkuchen, der während des Schlagens mit Pelz auf einer leitenden Unterlage gelegen, aufhebt, so wird nun auf einmal alle E frei, welche durch den Einfluß der Unterlage auf dem Harze zurückgehalten war; man kann demselben zahlreiche kräftige Funken entziehen, welche während des Aufliegens nicht übersprangen.

Die Gesetze des Elektrophors lassen sich sehr wohl mit Hülfe des oben beschriebenen Elektroskops Fig. 58 nachweisen. Man lege auf die Platte des Elektroskops eine Scheibe von Schellack, deren Durchmesser noch etwas größer ist als der Durchmesser der Metallplatte. Wenn, wie es seyn muß, die Schellackscheibe ganz unelektrisch ist, so werden natürlich die Pendel nicht divergiren, sobald man aber die obere Harzfläche mit einem Katzenpelze schlägt, divergiren die Pendel, und zwar mit $-E$, weil durch die $-E$ auf der Oberfläche des Schellacks die $+E$ des Apparats in der Metallplatte gebunden, die $-E$ aber abgestoßen wird. Sobald man nun die Metallplatte des Elektroskops unten mit dem Finger berührt, wird die abgestoßene $-E$ abgeleitet, die Pendel fallen zusammen, in der Metallplatte bleibt aber $+E$ gebunden, was man daraus erkennt, daß die Pendel mit $+E$ divergiren, sobald man die Schellackplatte abhebt, sogleich aber auch wieder zusammenfallen, wenn man sie wieder auflegt.

Die eben beschriebene Anordnung stellt uns ein vollständiges Elektrophor dar, die Schellackscheibe ist der Harzkuchen, die Platte des Elektroskops ist die Form. Bei dieser Form des Versuchs ist es nun, wie wir gesehen haben, leicht, jederzeit den elektrischen Zustand der Form nachzuweisen.

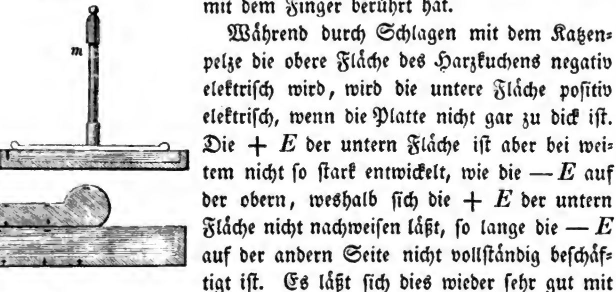
Sobald man auf die obere Fläche der Schellackscheibe eine, durch eine Glasstange isolirte Metallscheibe, welche der Platte des Elektroskops ganz gleich ist und dem Deckel des Elektrophors entspricht, auffetzt und mit dem Finger berührt, verändern sich die Umstände. In dem Moment, in welchem man aus der oberen Deckelplatte die $-E$ ableitet, so daß sie nur noch $+E$ enthält, wird die $-E$ des Harzkuchens durch die $+E$ im

Deckel vollständig beschäftigt, sie kann nicht mehr, wie früher, bindend auf die $+ E$ der untern Platte wirken, welche ja weiter von der geriebenen Oberfläche entfernt ist. In dem Augenblicke, in welchem man die obere Platte mit dem Finger berührt, werden deshalb die Pendel des Elektroskops divergiren, und zwar mit der $+ E$, welche bis dahin in der Platte des Elektroskops gebunden war.

Dies erklärt nun auch eine Erscheinung am Elektrophor, welche bisher noch nicht erwähnt wurde. Wenn man nämlich den Deckel gehörig aufgesetzt hat und gleichzeitig mit einem Finger den Deckel, mit einem andern die Form berührt, so erhält man einen Schlag oder Stoß, der weit heftiger ist, als wenn man nur den Deckel berührte. Es kommt dies daher, daß die $- E$ des Deckels und die frei werdende $+ E$ der Form zu einander übergehen.

Die Fig. 64 zeigt, wie die Elektricitäten im Elektrophor vertheilt sind, wenn man den Deckel aufgesetzt und noch nicht mit dem Finger berührt hat.

Fig. 64.



Während durch Schlagen mit dem Katzenpelze die obere Fläche des Harzkuchens negativ elektrisch wird, wird die untere Fläche positiv elektrisch, wenn die Platte nicht gar zu dick ist. Die $+ E$ der untern Fläche ist aber bei weitem nicht so stark entwickelt, wie die $- E$ auf der obern, weshalb sich die $+ E$ der untern Fläche nicht nachweisen läßt, so lange die $- E$ auf der andern Seite nicht vollständig beschäftigt ist. Es läßt sich dies wieder sehr gut mit der kleinen Schellackplatte und dem Elektroskope nachweisen. Man setze den Deckel auf die obere Fläche, bringe denselben mit der metallischen Unterlage der Schellackplatte in leitende Verbindung, so daß der Deckel mit $+ E$ geladen und die $- E$ der obern Schellackfläche beschäftigt ist. Hebt man nun die Schellackplatte auf, jedoch so, daß der Deckel darauf sitzen bleibt, so läßt sich die $+ E$ der untern Schellackfläche nachweisen.

Da nach dem Berühren des Deckels die $+ E$ der untern Fläche des Schellacks wirksam werden kann, so ist eine natürliche Folge, daß nach dem Berühren des Deckels in der Form $- E$ gebunden wird. Der Versuch bestätigt dies auch vollkommen, denn wenn man die Schellackplatte mit dem darauf liegenden Deckel von der Platte des Elektroskops abhebt, so divergiren alsbald die Pendel mit negativer Elektricität.

Die Elektrisirmaschine besteht aus einem reibenden Körper, einem Reibzeuge und einem isolirten Leiter. 36

Der reibende Körper ist gewöhnlich ein mit Pferdehaaren ausgestopftes

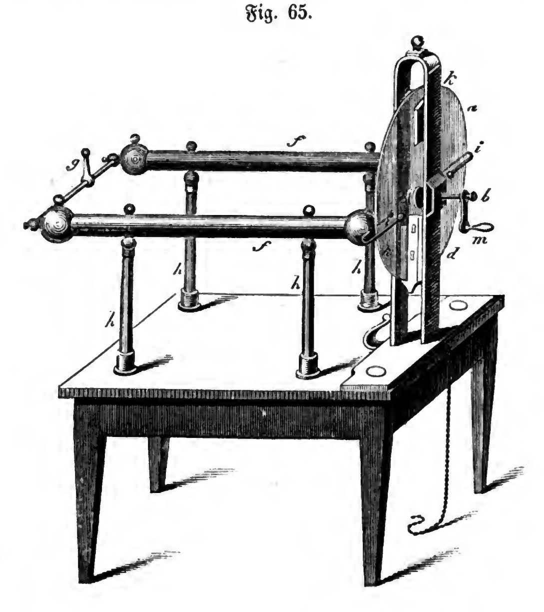
Kissen. Die reibende Fläche ist ein Leder, welches mit Amalgam überzogen ist.

Der geriebene Körper ist eine Glasscheibe oder ein Glascylinder.

Der isolirte Conductor ist in der Regel ein System von hohlen Cylindern aus Messingblech, an den Enden kugelförmig abgerundet und von gläsernen Säulen getragen, welche mit Schellackfirniß überzogen sind.

Man hat der Elektrisirmaschine mancherlei verschiedene Einrichtungen gegeben; eine der gewöhnlichsten ist die Fig. 65 abgebildete. Der Durch-

Fig. 65.



messer der Glasscheibe *a* variirt von 20 bis 60 Zoll. Sie ist in der Mitte durchbohrt, und durch die Oeffnung geht eine Axe mit der Kurbel *b*. Die Pfeiler *d* tragen zugleich die Scheibe und die beiden Paare von Kissen *e* und *e'*, welche die Scheibe vom Rande bis ungefähr auf $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{2}$ ihres Halbmessers reiben. Der Conductor *f g f'* ist durch die Säulen *h* isolirt und endigt mit zwei Backen *i*, welche am Ende des horizontalen Durchmessers der Scheibe um dieselbe herumgreifen.

In Fig. 66 und Fig. 67 sieht man die Einrichtung und Befestigungsweise der Kissen deutlicher.

Wenn man mittelst der Kurbel die Glasscheibe umdreht, so wird sie durch

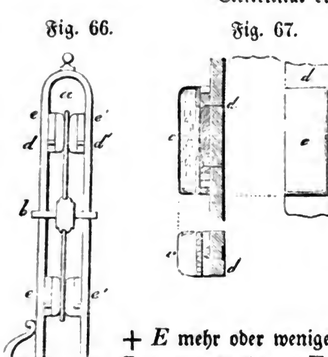


Fig. 66. Fig. 67.

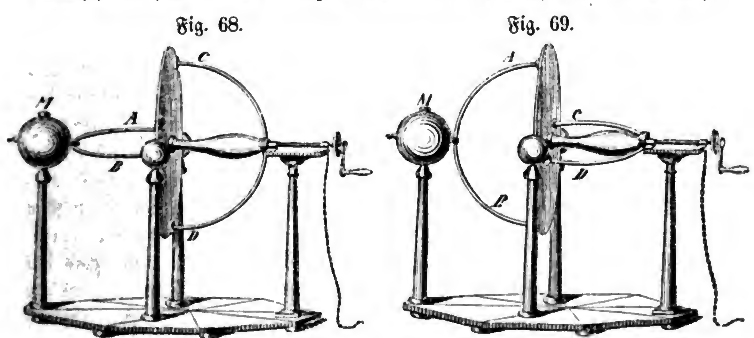
das Reiben an den mit Amalgam überzogenen Lederkissen + elektrisch. Nach einer Viertelumdrehung gelangt aber immer eine eben zwischen den Kissen hervortretende Stelle der Scheibe zu den Backen *i*. Die $+E$ des Glases wirkt hier zersetzend auf den Conductor, die $-E$ wird angezogen und strömt auf das Glas über, um es wieder in den gewöhnlichen Zustand zu versetzen, d. h. seine $+E$ mehr oder weniger vollständig zu neutralisiren. Auf dem Conductor bleibt $+E$ zurück.

Damit sich auf dem Wege von dem Reibzeuge bis zu den Backen *i* die Elektricität des Glases nicht so leicht in die Luft verliere, ist hier die Scheibe auf beiden Seiten mit Stücken von Wachstaffent behängt. Wenn die Maschine kräftig wirken soll, so muß man unmittelbar vor dem Gebrauche die Glasfüße und die Scheibe mit warmen wollenen Lappen oder mit gewärmtem, recht trocknem Löschpapier reiben.

Die $-E$ des Reibzeuges strömt in den Boden über, und es ist in der That nöthig, daß sie frei abfließt, denn wenn sie auf dem Kissen bliebe, so würde sie bald eine solche Spannung erreicht haben, daß sie theilweise auf die Glasplatte überströmen und die positive Elektricität neutralisiren würde. Die durch Reiben frei gewordenen Elektricitäten müssen von der Stelle, wo sie frei wurden, weggeführt werden, wenn an derselben Stelle durch ferneres Reiben von Neuem Elektricität erregt werden soll.

Van Marum's Maschine ist Fig. 68 und Fig. 69 dargestellt. Sie unterscheidet sich von der vorigen hauptsächlich dadurch, daß man nach

Fig. 68. Fig. 69.



Belieben die positive oder die negative Elektricität, also die E der Glasscheibe oder des Reibzeugs sammeln kann. Die beiden Reibzeuge sind an den Enden des horizontalen Durchmessers der Scheibe angebracht und sind an zwei Hohlkugeln von Messingblech befestigt, die selbst auf isolirenden Glasfüßen stehen. Zwei bewegliche metallene Bogen $C\ D$ und $A\ B$ müssen stets in einer solchen Stellung zu einander stehen, daß die Ebene des einen Bogens mit der des andern einen rechten Winkel macht. In Fig. 71 steht der Bogen $A\ B$ vertikal, $C\ D$ aber wagerecht. Der Bogen $C\ D$ ist mit den Reibzeugen in Berührung, und da er selbst durch eine Metallkette mit dem Boden in leitender Verbindung steht, so strömt die negative Elektricität des Reibzeugs ab, während der Conductor M durch den Bogen $A\ B$ mit $+ E$ geladen wird. Wenn aber diese Bogen die Stellung Fig. 70 haben, so ist der Bogen $A\ B$ mit dem Reibzeuge in Berührung, es wird also die $- E$ dem Conductor M zugeführt, während jetzt die $+ E$ durch den Bogen $C\ D$ abgeleitet wird.

Fig. 70.

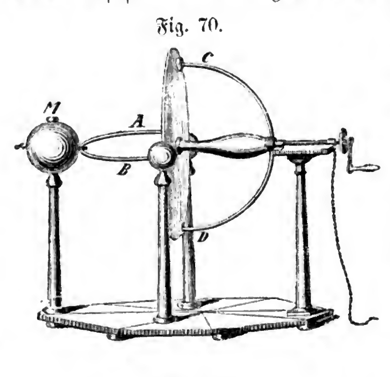
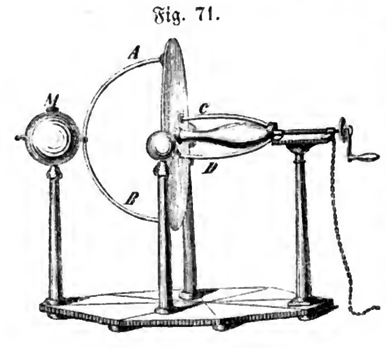


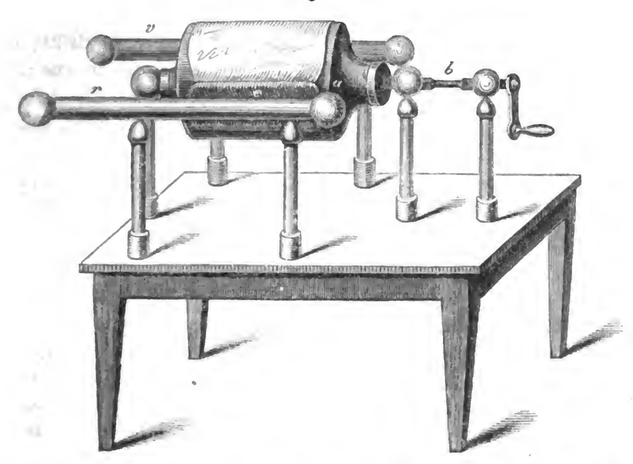
Fig. 71.



Nairne's Maschine ist Fig. 72 dargestellt. Sie ist ebenfalls so eingerichtet, daß sie beide Elektricitäten giebt, sie giebt aber beide gleichzeitig auf verschiedenen Conductoren v und r. Hier ist der geriebene Körper ein großer Glascylinder a, welcher um eine horizontale Axe b drehbar ist und in seiner ganzen Länge durch ein einziges Kissen e gerieben wird. Dieses Kissen ist mit dem einen Conductor r in Verbindung. Der Conductor v steht dem Kissen e diametral gegenüber und ist an der dem Cylinder zugekehrten Seite mit Spitzen besetzt. Damit das am Reibzeug e geriebene Glas auf dem Wege bis zum Conductor v seine Elektricität nicht verliert, ist die obere Hälfte des Cylinders mit einem Stücke Wachstaffent besetzt, welches

am Reibzeuge e befestigt ist. Der Conductor v ist natürlich mit $+ E$ geladen. Wenn man auf v eine starke Ladung von $+ E$ haben will, so

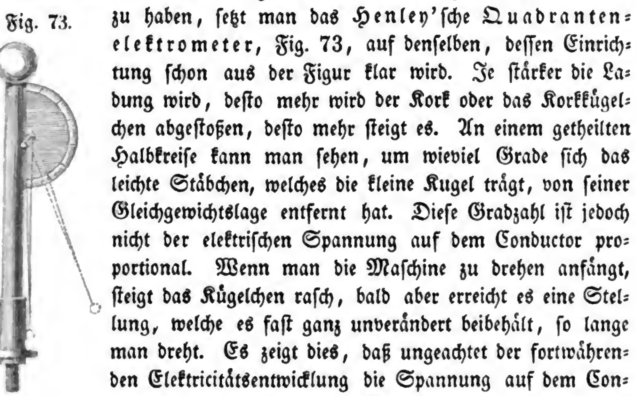
Fig. 72.



muß man den Conductor r mit dem Boden in leitende Verbindung setzen. Umgekehrt muß man dafür sorgen, daß die $+ E$ vom Conductor v frei abströmen kann, wenn man auf dem Conductor r eine starke negative Ladung beabsichtigt.

Um über den Grad der Ladung des Conductors einigermaßen ein Urtheil zu haben, setzt man das Henley'sche Quadrantenelektrometer, Fig. 73, auf denselben, dessen Einrichtung schon aus der Figur klar wird. Je stärker die Ladung wird, desto mehr wird der Kork oder das Korkkügelchen abgestoßen, desto mehr steigt es. An einem getheilten Halbkreise kann man sehen, um wieviel Grade sich das leichte Stäbchen, welches die kleine Kugel trägt, von seiner Gleichgewichtslage entfernt hat. Diese Gradzahl ist jedoch nicht der elektrischen Spannung auf dem Conductor proportional. Wenn man die Maschine zu drehen anfängt, steigt das Kügelchen rasch, bald aber erreicht es eine Stellung, welche es fast ganz unverändert beibehält, so lange man dreht. Es zeigt dies, daß ungeachtet der fortwährenden Elektricitätsentwicklung die Spannung auf dem Conductor indt mehr zunimmt. Der Grund davon liegt darin, daß, so gut man den Conductor auch isoliren mag, er doch fortwährend

Fig. 73.



Elektricität verliert. Dieser Verlust ist nun um so größer, je größer die Spannung der Elektricität ist; begreiflicher Weise wird bei fortgesetztem Drehen bald ein Zeitpunkt eintreten, wo die Spannung auf dem Conductor so groß ist, daß der elektrische Verlust in jedem Zeittheilchen gleich ist der Elektricitätsmenge, welche in derselben Zeit dem Conductor zugeführt wird.

Die Größe der möglichen Ladung eines Conductors hängt namentlich auch von der Witterung ab. Bei feuchter Witterung, wo der elektrische Verlust sehr bedeutend ist, kann man dem Conductor keine so starke Ladung ertheilen, wie bei trockenem Wetter, wie man dies namentlich sehr deutlich mit dem Quadrantenelektrometer zeigen kann.

37 **Dampfelektrisirmaschine.** Vor einigen Jahren machte der Engländer Armstrong eine eben so interessante als wichtige Entdeckung bekannt. Man hatte ihn benachrichtigt, daß in der Nähe von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils eine ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet worden sey; als nämlich der Maschinenwärter zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl hielt und mit der andern nach dem Hebel des Ventils faßte, um die Belastung derselben zu ajüstiren, schlug ein Funken zwischen dem Hebel und seiner Hand über, während er zugleich einen starken elektrischen Schlag erhielt.

Armstrong fand diese Angaben bestätigt und beobachtete bald auch an anderen Dampfkesseln ähnliche Erscheinungen.

Den ausströmenden Dampf fand er positiv elektrisch.

An einer auf eine isolirende Unterlage gestellten Locomotive fand Armstrong, daß dieselbe eine starke Ladung negativer Elektricität erhielt, wenn man die positive Elektricität des ausströmenden Dampfes gehörig ableitete, und zwar so, daß man sehr kräftige Funken aus der Locomotive ziehen konnte.

Anfangs war man der Meinung, die Elektricitätsentwicklung möchte wohl durch die Dampfbildung oder seine nachherige Condensation veranlaßt werden, und hoffte, daß die neu entdeckte Erscheinung vielleicht zur Aufhellung des Dunkels beitragen möchte, in welches noch die Entstehung der atmosphärischen Elektricität gehüllt ist.

Nach späteren, namentlich von Faraday angestellten Versuchen ist jedoch wohl kein Zweifel mehr, daß die Quelle dieser Elektricität die Reibung des mit Gewalt ausströmenden Dampfes an den Rändern der Oeffnung ist.

Armstrong hat die beim Ausströmen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Construction einer Elektrisirmaschine benutzt, welche er Hydroelektrisirmaschine nennt. Eine kolossale Maschine der Art hat er für das polytechnic Institution zu London anfertigen lassen.

Dieser Apparat besteht aus einem cylinderförmigen Dampfkessel von $3^1/_2$ Fuß Durchmesser und $6^1/_2$ Fuß Länge. Der Feuerheerd ist im Kessel enthalten, und die erhitzte Luft wird in Röhren durch das Wasser zu einem Schornsteine geführt. Der Apparat ist durch 6 starke Glasfüße isolirt.

Der Dampf entweicht aus 46 durch Hähne verschließbaren Röhren, an deren Mündung eine Röhre von hartem Holze eingesetzt ist, wodurch die Wirkung sehr verstärkt wird.

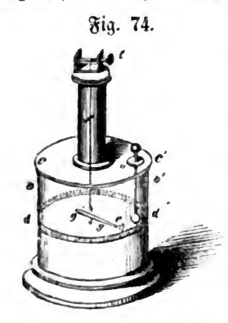
Der Dampf strömt gegen eine Reihe von Metallspitzen, die mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, um die Elektricität des Dampfes abzuleiten. Aus dem Kessel konnten 22 Zoll lange Funken gezogen werden.

Drittes Kapitel.

Von den elektrischen Kräften.

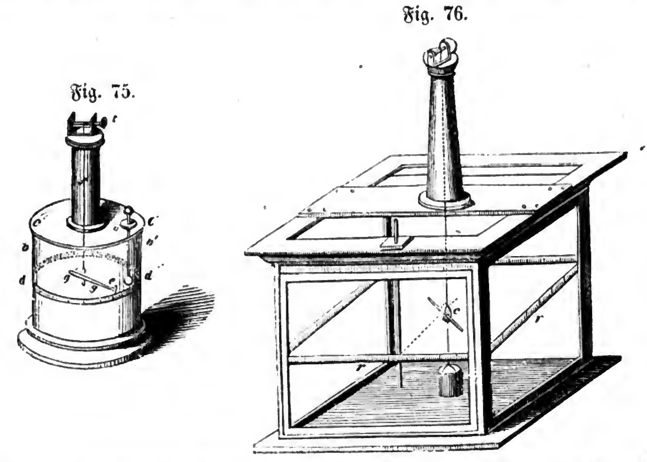
38 **Die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen verhalten sich wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden Fluida, und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung.** Dieses Fundamentalgesetz der elektrischen Wirkungen ist wie das entsprechende Gesetz für die magnetischen Kräfte von Coulomb aufgestellt und bewiesen worden. Er wandte hier ganz analoge Mittel an, wie dort, nämlich die Drehwage und die Oscillationen einer kleinen elektrischen Nadel.

Fig. 74.



Man kann die Drehwage in der Gestalt Fig. 74 und in der Form Fig. 76 (a. f. S.) zu elektrischen Versuchen anwenden, nur muß man dafür sorgen, daß alle Wände möglichst gut isoliren. Der Boden und das Gestell wird deshalb von trocknem Holze gemacht und überfirnißt; die Seitenwände sind entweder durch einen Glascylinder oder durch 4 Glasplatten gebildet, und auch der Deckel ist von Glas. Dieser Deckel hat zwei Löcher, eins in der Mitte, über welchem die Röhre sich erhebt, und ein anderes auf der Seite, um die elektrisirten Körper in den Apparat hineinzubringen. Das Mikrometer am obern Theile der Röhre ist gerade so eingerichtet, wie zu den magnetischen Versuchen. Der Silber- oder Messingfaden, welcher in dem Rohre herunterhängt, trägt an seinem untern Ende eine leichte Nadel von Schellack, die sehr gut äquilibrirt seyn muß und an einem Ende ein Kügelchen von Hollundermark oder ein Scheib-

chen von Blattgold trägt, welches 6 bis 8 Linien im Durchmesser hat. Auf den Boden setzt man ein Schälchen, in welchem sich einige Stücke


Fig. 75. Fig. 76.

Chlorcalcium befinden, welche dazu dienen, die Luft im Innern trocken zu erhalten.

Um mit diesem Apparate das Gesetz der elektrischen Abstoßung zu beweisen, ertheilt man der Scheibe oder dem Kügelchen der horizontalen Schellacknadel eine bestimmte Elektricität und bringt dann ein mit derselben Elektricität geladenes Scheibchen oder Kügelchen, welches am untern Ende eines vertikal gehaltenen Schellackstäbchens befestigt ist, wie Fig. 75 zeigt, in den Apparat. Das Mikrometer muß anfänglich so gestellt seyn, daß, bevor ein elektrisirter Körper in den Apparat gebracht wird, das eine Ende der horizontalen Schellacknadel, welches das Scheibchen oder Kügelchen trägt, an der Stelle sich befindet, welche nachher das untere Ende des von oben eingeschobenen Schellackstabes einnimmt. Bei dieser Stellung ist die horizontale Schellacknadel nach dem Nullpunkte der Theilung gerichtet. Sobald nun das Scheibchen, welches unten am vertikalen Schellackstabe sich befindet, mit derselben Elektricität geladen ist, wie das Scheibchen der horizontalen Nadel, so findet eine Abstoßung Statt, deren Stärke auf dieselbe Weise gemessen werden kann, wie bei den entsprechenden magnetischen Versuchen.

Um zu beweisen, daß die elektrischen Abstoßungen sich verhalten wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden elektrischen Flüssigkeiten, muß man ein Princip anwenden, welches schon für sich selbst einleuchtend ist: daß nämlich auf zwei leitenden, isolirten und vollkommen gleichen Kugeln sich die Elektricität, die sich auf ihnen befindet, ganz gleichförmig vertheilt, wenn

man sie in Berührung bringt. Wäre z. B. vor der Berührung nur die eine der beiden Kugeln elektrisirt gewesen, die andere nicht, so wird bei der Berührung die erstere die Hälfte ihrer E verlieren. Nachdem man zuerst die Torsionskraft bestimmt hat, welche der abstoßenden Kraft zwischen den Kügelchen der horizontalen Nadel und des eingeschobenen Stabes für eine bestimmte Entfernung das Gleichgewicht hält, berührt man das eine Kügelchen mit einem vollkommen gleichen, auf dieselbe Weise isolirten, nicht elektrischen Kügelchen. Das auf diese Weise berührte verliert die Hälfte seiner Elektricität, und um nun wieder gleiche Ablenkung der horizontalen Nadel zu erhalten, darf die Torsion des Fadens nur halb so groß seyn, als vor der Berührung. Nimmt man auf dieselbe Weise dem einen Kügelchen wieder die Hälfte seiner Elektricität, so wird die abstoßende Kraft abermals um die Hälfte vermindert u. s. w. Nimmt man zu gleicher Zeit jedem der beiden Kügelchen in der Drehwage die Hälfte seiner Elektricität, so ist die Wirkung zwischen beiden 4mal schwächer als vorher.

Coulomb hat dieselben Gesetze mit derselben Schärfe auch nachgewiesen, indem er eine kleine Nadel von Schellack, die an einem Seidenfaden horizontal aufgehangen war und an seinem einen Ende ein Scheibchen von Blattgold trug, welches elektrisirt wurde, unter dem Einflusse einer elektrisirten isolirten Kugel oscilliren ließ. Ist die Kugel und das Scheibchen mit derselben Elektricität geladen, so bildet das Scheibchen das der Kugel abgewendete Ende des elektrischen Pendels; sind aber die Elektricitäten des Scheibchens und der Kugel entgegengesetzt, so ist das Scheibchen der Kugel zugewendet. Aus den Oscillationen des elektrischen Pendels kann man auf die dasselbe beschleunigenden Kräfte in ähnlicher Weise schließen, wie wir bei den magnetischen Oscillationen gesehen haben, nur ist hier die Wirkung zwischen der Kugel und der Scheibe die einzige Ursache der Oscillationen, während wir dort noch die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel in Rechnung bringen mußten. Es ergiebt sich aus diesen Versuchen, daß die Intensitäten der auf das elektrische Pendel wirkenden Kräfte sich unter einander verhalten wie die Quadrate der Zahl der Oscillationen, welche unter ihrem Einflusse die Nadel in gleichen Zeiten macht.

Allmäliger Verlust der Elektricität. Wenn ein elektrisirter Leiter noch so gut isolirt ist, so verliert er doch nach und nach seine Elektricität, sie zerstreut sich in der Luft oder geht in den Boden über. Da sich nun ein solcher Verlust nicht vermeiden läßt, so muß man doch bei genauen Versuchen dafür sorgen, daß er möglichst langsam vor sich gehe, daß er regelmäßig und meßbar werde. Ohne dies ist eine genaue Messung und Vergleichung elektrischer Kräfte ganz unmöglich, denn die Körper, welche man dem Versuche unterwirft, verlieren fortwährend an Elektricität, und diesen Verlust könnte man nicht in Rechnung bringen, wenn das Gesetz des Verlustes nicht ermittelt wäre. 39

Der Verlust durch die isolirenden Träger findet theils durch ihre Substanz, theils durch eine dünne Feuchtigkeitsschicht Statt, mit welcher sie sich überziehen. Dieses letztere findet besonders bei Glas und Seide Statt, auf welche sich der Wasserdampf sehr leicht niederschlägt. Es ist deshalb immer nöthig, Glasoberflächen, die gut isoliren sollen, mit einer Schicht von Schellackfirniß zu überziehen. Nach Coulomb's Versuchen isolirt ein so überzogener Glasstab, ebenso wie eine Schellackstange, schwache Ladungen vollkommen, wenn er 15 bis 20 Zoll lang ist. Man muß freilich durch Erwärmen dafür sorgen, daß alle Feuchtigkeit vollkommen entfernt sey. Da sie jedoch nur dann vollständig isoliren, wenn sie eine hinreichende Länge haben, so ist klar, daß sie selbst eine gewisse elektrische Ladung annehmen, und man begreift wohl, daß eine stärkere Ladung, die gleichartige Elektricität mit großer Kraft abstoßend, sie bis an das Ende des isolirenden Trägers treibt und sie nöthigt, langsam und continuirlich in den Boden überzuströmen. Daß ein Leiter durch seine Träger vollständig isolirt sey, erkennt man daran, daß er, mit mehreren derselben in Berührung gebracht, nicht mehr verliert, als wenn er nur von einem einzigen getragen wird. Aller Verlust, welchen er alsdann erleidet, rührt nur von der Berührung mit der Luft her.

Der Verlust durch die Luft rührt größtentheils von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampfe her, denn er nimmt mit der Feuchtigkeit der Luft zu. Es ist dies so auffallend, daß, wenn man über eine elektrische Glasröhre oder einen Harzstab hinbläs't, diese alle Elektricität verlieren. Ebenso verhält es sich, wenn man nach einem isolirten Leiter bläs't, nur darf man natürlich diesem nicht zu nahe kommen, weil sonst ein Funken überspringt. Wahrscheinlich aber rührt nicht aller Verlust, den ein elektrisirter Körper in der Luft erleidet, nur von der Gegenwart des Wasserdampfs her, denn selbst in einer Luft, welche durch Chlorcalcium vollständig getrocknet ist, findet ein solcher Verlust Statt, wie die Versuche mit der Drehwage zeigen. Nehmen wir z. B. an, daß die beiden Kügelchen durch eine Drehung von 250^0 des obern Mikrometers in einer Entfernung von 20^0 gehalten werden, so ist die Torsionskraft, welche der abstoßenden Kraft das Gleichgewicht hält, $250^0 + 20 = 270^0$. Nach und nach aber näher nähern sich die Kügelchen, und man muß, nach 1 Minute etwa, die Torsion um 6^0 verringern, um die Entfernung von 20^0 wieder zu erhalten. In einer Minute war also der Verlust an Elektricität entsprechend einer Torsion von 6^0. Zu Anfang der Minute war die elektrische Kraft gleich einer Torsion von 270^0, am Ende derselben gleich 264^0; die mittlere elektrische Kraft während dieser Minute war also $\frac{270 + 264}{2} = 267^0$. In einer Minute betrug also der Verlust $^6/_{267}$ oder $^1/_{44}$ der mittleren elektrischen Kraft.

Auf diese Weise hat Coulomb genau den elektrischen Verlust in der Luft

ermittelt. An trocknen Tagen war er $1/_{60}$ bis $1/_{70}$ der mittleren Kraft für jede Minute, an feuchten Tagen betrug er oft $1/_{20}$; unter solchen Umständen sind genaue Versuche nicht möglich. Wenn in der Atmosphäre wenige Veränderungen vorgehen, seyen es nun Veränderungen der Wärme oder der Windrichtung, so bleibt der Verlust durch die Luft den ganzen Tag über fast derselbe.

Auch den elektrischen Verlust eines außerhalb der Drehwage befindlichen isolirten Leiters kann man mit der Drehwage messen. Man berührt ihn an einer bestimmten Stelle mit einem Probescheibchen und bringt dieses in die Drehwage, deren horizontale Nadel sich noch im natürlichen Zustande befindet. Anfangs wird sie angezogen, berührt das Probescheibchen, ladet sich mit seiner Elektricität und wird dann abgestoßen. Die Stärke der Abstoßung wird auf die bekannte Art gemessen. Will man sehen, wieviel die elektrische Ladung des isolirten Leiters nach einer bestimmten Zeit abgenommen hat, so muß man vorerst die Nadel der Drehwage wieder in den natürlichen Zustand versetzen und dann den Versuch ganz auf dieselbe Weise wiederholen.

Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper. So lange ein Körper sich im natürlichen Zustande befindet, d. h. so lange die beiden elektrischen Fluida noch verbunden sind, sind sie wahrscheinlich ganz gleichförmig in der ganzen Masse der Körper vertheilt. Sobald aber die eine Flüssigkeit von der andern getrennt ist, sobald ein Leiter mit freier Elektricität geladen ist, wirken die einzelnen Elemente dieser freien Elektricität abstoßend auf einander und entfernen sich deshalb so weit von einander als nur irgend möglich ist, bis sie durch irgend ein Hinderniß aufgehalten werden. Ein vollkommen leitender Körper kann in seinem Innern dieser Dispersion kein Hinderniß entgegensetzen; die Elektricität verbreitet sich deshalb auf ihre Oberfläche und würde sich noch weiter zerstreuen, wenn sich der Körper in einem für die Elektricität leicht durchdringlichen Raume befände. Die Elektricität verbreitet sich also stets auf der Oberfläche der Leiter und wird auf derselben durch die Luft zurückgehalten, welche sie gleichsam wie eine nichtleitende Schicht umgiebt. 40

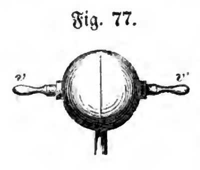
Daß die freie Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Körper, und nicht im Innern derselben, verbreitet, beweisen auch folgende Versuche.

1) Man elektrisire zwei vollkommen gleiche isolirte metallene Kugeln, *a* und *b*, während sie mit einander in Berührung sind, so wird sich die Elektricität gleichförmig über beide verbreiten. Man trenne sie nun, berühre die Kugel *a* mit einer isolirten Hohlkugel, *b* mit einer ebenso großen isolirten massiven Kugel, so wird man mit Hülfe des Probescheibchens finden, daß *a* und *b* gleichviel Elektricität verloren haben, die massive Kugel hat also nicht mehr Elektricität weggenommen als die gleich große Hohlkugel.

2) Eine Kugel von 7 bis 8 Zoll Durchmesser, mit einer 8 bis 10 Linien breiten, 1 Zoll tiefen Höhlung werde isolirt und mit Elektricität geladen.

Wenn man nun die Oberfläche dieser Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen berührt, so ladet es sich mit Elektricität, wenn man aber den Boden der Höhlung mit dem Probescheibchen berührt, so bleibt es in seinem natürlichen Zustande.

Fig. 77.



3) Elektrisirt man eine durch einen Glasfuß isolirte Metallkugel, hüllt man sie nachher in zwei metallene hohle Halbkugeln von demselben Durchmesser ein, die man an isolirenden Handhaben anfassen kann, so findet man, wenn man die Halbkugeln rasch wieder wegnimmt, daß alle Elektricität auf sie übergegangen ist und daß auf der Kugel selbst gar keine freie Elektricität zurückgeblieben ist.

Elektrisirt man eine isolirte Kugel, so erfordert schon das Gesetz der Symmetrie, daß sich die Elektricität auf der ganzen Oberfläche gleichförmig verbreitet, daß sie eine Schicht bildet, welche überall gleiche Dichtigkeit hat. Aber auch durch den Versuch kann man sich davon überzeugen, daß es wirklich so ist. Berührt man nämlich die elektrisirte Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen, so bildet dasselbe hier gleichsam ein Element der Kugeloberfläche, und es verbreitet sich auf dem Probescheibchen gerade so viel Elektricität, als sich auf dem bedeckten Kugelstücke befand; hebt man nun das Scheibchen ab, so kann man die Stärke seiner elektrischen Ladung mit Hülfe der Drehwage bestimmen. An welcher Stelle der Kugel man aber auch das Probescheibchen auffetzen mag, überall erhält es eine gleich starke Ladung.

Anstatt die Stärke der Ladung, welche das Probescheibchen annimmt, mit der Drehwage zu messen, kann man auch das Elektrometer Fig. 60 anwenden, und aus der Divergenz der Goldblättchen, welche man erhält, wenn man die Platte des Elektrometers mit dem Probescheibchen berührt, auf die Stärke seiner Ladung schließen. Wo man auch die Kugel mit dem Probescheibchen berührt haben mag, man erhält gleiche Divergenz der Goldblättchen.

Wenn der isolirte Leiter, den man elektrisirt, nicht kugelförmig ist, so findet auch keine gleichmäßige Vertheilung der Elektricität Statt, d. h. die elektrische Schicht, welche sich über den Körper verbreitet, hat nicht überall gleiche Dichtigkeit. Untersucht man mit Hülfe eines Probescheibchens

Fig. 78.



die Dichtigkeit der Elektricität an verschiedenen Stellen eines Cylinders (Fig. 78) mit abgerundeten Enden, so findet man, daß die Dichtigkeit der Elektricität an den Enden weit größer ist als in der Mitte. Bei einem Cylinder dieser Art, welcher 8 Zoll lang war und 2 Zoll

Durchmesser hatte, verhielten sich die Intensitäten in der Mitte, 2 Zoll vom Ende 1 Zoll vom Ende und am Ende selbst wie 1 : 1,25 : 1,8 : 2,3. Von der Mitte ausgehend, ändert sich also anfangs die Intensität nur wenig, nimmt aber nahe an den Enden in einem raschen Verhältniß zu. Noch weit stärker wird das Probescheibchen geladen, wenn man es so an das Ende des Cylinders hält, daß seine Fläche nicht auf dem Cylinder aufliegt, sondern daß seine Ebene in die Verlängerung der Cylinderaxe fällt. Ganz ähnliche Resultate erhält man, wenn man den elektrischen Zustand einer Scheibe, etwa eines Elektrophordeckels, untersucht.

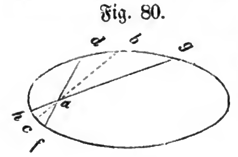
Daß eine solche Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche von Körpern stattfinden müsse, welche nach verschiedenen Richtungen hin ungleiche Ausdehnung haben, läßt sich auch schon durch eine einfache Betrachtung einsehen. Wenn sich auf der Oberfläche eines isolirten Leiters freie Elektricität verbreitet, so bleiben doch die Theilchen im Innern in ihrem natürlichen Zustande. Ein Element der Oberfläche wirkt aber zersetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten eines Theilchens im Innern, es zieht die ungleichnamige E an und stößt die gleichnamige ab, es würde also eine Zersetzung erfolgen, wenn nicht von dem diametral gegenüber liegenden Element der Oberfläche eine ganz gleiche Wirkung im entgegengesetzten Sinne ausgeübt würde. Es sei a (Fig. 79) ein Punkt im Innern einer elektrisirten Kugel. Ziehen wir durch a irgend eine gerade Linie, so trifft diese die Kugeloberfläche in zwei Punkten, b und c. Denken wir uns nun eine Linie df, welche mit bc einen ganz kleinen Winkel macht, um die Axe bc umgedreht, so entstehen zwei Kegel, welche mit ihren Spitzen in a zusammentreffen, und deren Grundflächen zwei Stückchen der Kugeloberfläche sind, die in unserer Figur freilich nur als Linien, dg und hf, erscheinen. Man sieht nun leicht ein, daß, wenn die Kugel elektrisirt ist und sich die Elektricität im Zustande des Gleichgewichts befindet, daß dann die über das Flächenstück dg verbreitete Elektricität die Wirkung aufheben müsse, welche die auf dem Flächenstück hf befindliche auf den Punkt a ausübt. Nun aber sind die Entfernungen ab und ac nicht gleich, dg liegt weiter von a als hf, wenn also die Wirkungen gleich sein sollen, so muß sich auf dem Flächenstück dg mehr Elektricität befinden als auf hf, und zwar müssen sich die Mengen der Elektricität auf dg und hf verhalten wie die Quadrate von ab und ac. Wäre z. B. ac halb so groß wie ab, so müßte auf dem Flächenstück dg 4mal so viel Elektricität verbreitet sein als auf hf. Nun aber verhalten sich die Flächenstücke dg und hf selbst wie die Quadrate von ab und ac, d. h. in unserm Fall ist die Fläche dg 4mal so groß als die Fläche hf. Wenn aber auf einer Fläche, welche viermal so groß ist als eine andere, 4mal so

Fig. 79.

viel Elektricität verbreitet ist als auf dieser, so ist klar, daß die Dichtigkeit der Elektricität auf beiden Flächen gleich groß seyn müsse.

Wenden wir dasselbe Raisonnement auf einen nicht kugelförmigen Körper an. Die Elektricität auf dem Flächenstück dg, Fig. 80., die wir mit M bezeichnen wollen, und die auf dem Flächenstück hf, die mit m bezeichnet seyn mag, werden auf den Punkt a gleiche und entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen; wenn sich M und m verhalten wie ab^2 zu ac^2. Wenn sich nun die Flächenstücke dg und hf ebenfalls verhielten wie ab^2 zu ac^2, so würde daraus folgen, daß die Dichtigkeit der E auf beiden gleich groß wäre. Dies ist aber nicht der Fall; das Flächenstück dg ist weit größer als diesem Verhältniß entspricht, eine $n$fache Elektricitätsmenge verbreitet sich also nicht über eine $n$fache Fläche, sondern über eine bei weitem größere, die Dichtigkeit der E auf dg muß also weit geringer seyn als die Dichtigkeit der E auf hf.

Fig. 80.



Jemehr sich die Gestalt eines Körpers von der Kugelgestalt entfernt, desto ungleichförmiger vertheilt sich die Elektricität auf seine Oberfläche, sie häuft sich an den von seiner Mitte entfernteren Enden am meisten an, und zwar um so mehr, je dünner sie sind. Es geht daraus hervor, daß, wenn man an einem isolirten Leiter eine Spitze anbringt, die Elektricität an dieser Spitze eine außerordentliche Dichtigkeit haben muß. Je dichter aber die Elektricität in einem Punkte ist, desto eher wird sie den Widerstand der Luft, welche sie auf dem Körper zurückzuhalten strebt, überwinden können. Daher kommt es, daß aus Spitzen die Elektricität so leicht ausströmt. Man kann eine Menge von Versuchen anstellen, durch welche dieses Vermögen der Spitzen bewiesen wird, wir wollen jedoch nur einige hervorheben.

1) Wenn man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einer Spitze versieht, so ist es unmöglich, den Conductor so zu laden, daß man aus ihm Funken ziehen könnte. Alle durch die Umdrehung der Maschine erzeugte Elektricität entweicht alsbald durch die Spitze.

2) Wenn man eine Spitze, die mit dem Boden in leitender Verbindung steht, dem Conductor der Maschine bis auf einige Decimeter nähert, so ist es gleichfalls unmöglich, ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, sie stößt die gleichnamige ab und zieht die ungleichnamige an, diese ungleichnamige Elektricität häuft sich in der Spitze so stark an, daß sie nach dem Conductor überströmt, um seine Elektricität zu neutralisiren.

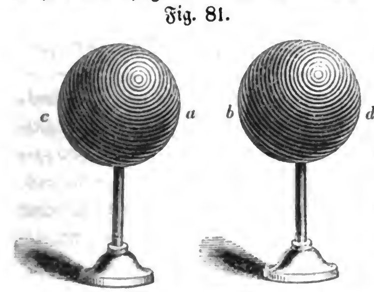
Wir werden in der Meteorologie bei der Betrachtung der Blitzableiter auf diese Eigenschaft der Spitzen zurückkommen.

Winkel und scharfe Kanten, die sich an leitenden Körpern befinden, wir-

ken ganz auf dieselbe Weise wie die Spitzen. Man muß deshalb sorgfältig alle eckigen Formen vermeiden, wenn man Apparate construiren will, welche bestimmt sind, die Elektricität zu halten.

Wenn einem isolirten elektrischen Leiter ein anderer Leiter genähert wird, so erleidet die Vertheilung der Elektricität auf den Oberflächen bedeutende Modificationen. Einer elektrisirten isolirten Kugel werde eine andere gleichfalls isolirte und mit derselben Elektricität geladene genähert, so findet nicht mehr eine gleichförmige Vertheilung der Elektricität auf den Kugeloberflächen Statt. Weil nämlich die E der einen Kugel die der andern abstößt, so wird an denjenigen Punkten der Kugeln, welche einander zugewendet sind, die Dichtigkeit der E am kleinsten, an den entgegengesetzten Punkten aber am größten seyn. Fig. 81 stellt zwei solcher Kugeln dar. In a und b ist die Dichtigkeit der E ein Minimum, in c und d ein Maximum.

Fig. 81.



Je mehr man nun die Kugeln nähert, desto mehr wird die Dichtigkeit in a und b vermindert, in c und d aber vermehrt. Bringt man die beiden Kugeln in Berührung, so ist die Dichtigkeit der E an der Berührungsstelle gleich Null. Wären die beiden Kugeln mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen gewesen, so hätte man in a und b die größte, in c und d die geringste Dichtigkeit gefunden. Die Anhäufung der E in a und b nimmt zu, wenn man die Kugeln nähert, bis endlich ein Funken überspringt.

Ein nicht elektrisirter Leiter, in die Nähe eines elektrisirten isolirten gebracht, wirkt ganz in der Weise, wie ein mit der entgegengesetzten Elektricität geladener Körper, weil er ja bei der Annäherung durch Induction elektrisch wird.

41 **Die Kraft, mit welcher die Elektricität von einem isolirten Leiter sich zu entfernen strebt, verhält sich wie das Quadrat der Dichtigkeit der elektrischen Schicht.** Wir haben gesehen, daß die abstoßende Kraft zweier isolirten gleichnamig elektrisirten Leiter verdoppelt wird, wenn man die Ladung des einen verdoppelt; wenn man aber auch die Ladung des andern verdoppelt, so wird die zwischen beiden wirkende abstoßende Kraft 4mal größer. Man kann allgemein sagen, die abstoßende Kraft, mit welcher zwei gleichnamig elektrisirte isolirte Leiter auf einander wirken, wird n^2mal größer, wenn sowohl die Ladung des einen als auch die des andern $n$mal so groß gemacht wird. Das Bestreben der Elektricität, sich von einem isolirten Leiter zu entfernen, rührt aber nur daher, daß die E an irgend einer Stelle seiner Oberfläche von der gleichnamigen Elektri-

cität abgestoßen wird, welche über die ganze übrige Oberfläche verbreitet ist. Betrachten wir nun irgend zwei Stücke a und b der Oberfläche eines isolirten Leiters, so wird die Elektricität in a diejenige in b abstoßen. Wenn aber die elektrische Ladung des ganzen Körpers verdoppelt wird, so wird die Dichtigkeit der elektrischen Schicht sowohl in a als auch in b doppelt so groß seyn, als sie vorher war, die Abstoßung zwischen der Elektricität der beiden Flächenstücken wird also 4mal so groß, als sie vorher war. Bei einer $n$fachen Ladung ist sowohl in a als auch in b die $n$fache Dichtigkeit, mithin findet eine n^2mal so große Abstoßung Statt.

Es ergiebt sich daraus, daß der elektrische Verlust isolirter Leiter in einem weit rascheren Verhältniß zunimmt als die Größe der Ladung.

Viertes Kapitel.

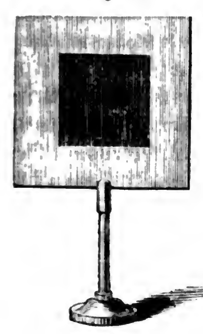
Von der gebundenen Elektricität.

42 Wir haben schon gesehen, daß, wenn zwei isolirte Leiter, mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen, durch eine Luftschicht getrennt sind, die Elektricität des einen die des andern in der Weise anzieht, daß man abwechselnd den einen oder den andern der beiden Körper mit dem Boden in leitende Verbindung setzen kann, ohne daß seine Elektricität vollständig abgeleitet werden kann. In Fig. 81 sey z. B. die Kugel links mit positiver, die rechts mit negativer Elektricität geladen, so kann man die eine oder die andere Kugel mit dem Finger berühren, ohne daß sie ihre Ladung verlieren. Die Elektricität auf der einen Kugel wird durch die entgegengesetzte E auf der andern angezogen, sie kann sich nicht entfernen, sie ist gebunden. Je näher die beiden Elektricitäten einander gebracht werden, desto stärker ziehen sie sich an, desto vollständiger ist also auch ihre gegenseitige Bindung; wenn aber die beiden Leiter nur durch eine Luftschicht getrennt sind, so kann die Bindung nicht sehr vollständig seyn, weil man sie nicht sehr nähern kann, ohne daß die Luftschicht durchbrochen wird und ein Funken überspringt. Wenn also die Bindung möglichst vollkommen sein soll, so müssen die beiden mit entgegengesetzten Elektricitäten geladenen Leiter nicht durch Luft, sondern durch einen andern Isolator getrennt seyn, welcher dem Uebergang der Elektricität einen größeren Widerstand entgegensetzt; man wählt dazu am besten Glas oder Harz.

Um die Eigenschaften der gebundenen Elektricität näher zu untersuchen,

ist die Franklin'sche Tafel ganz besonders geeignet. Fig. 82 stellt eine Glastafel vor, deren Seiten ungefähr 1 Fuß lang sind. In der Mitte ist die Glastafel auf jeder Seite mit Staniol belegt, so daß das Glas an dem Rand ungefähr handbreit frei bleibt. Um die unbelegten Stellen des Glases besser isolirend zu machen, kann man sie mit Firniß überstreichen. Wenn man nun die vordere Belegung mit positiver, die hintere mit negativer Elektricität ladet, so sind die beiden entgegengesetzten Elektricitäten einander sehr nahe, sie sind nur durch die Dicke der Glasscheibe getrennt, die sie jedoch nicht zu durchbrechen im Stande sind; die Bindung wird also hier ziemlich vollständig stattfinden.

Fig. 82.



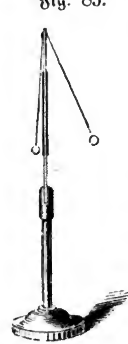
Um die beiden Belegungen der Franklinschen Tafel mit den entgegengesetzten Elektricitäten zu laden, hat man nicht nöthig, jede mit einer Elektricitätsquelle in Verbindung zu bringen. Man bringe die eine Belegung, etwa die vordere, mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung, so wird ein Theil der $+E$ vom Conductor auf die Belegung übergehen. Die Elektricität auf der vordern Belegung wirkt vertheilend auf die verbundenen Elektricitäten der hintern; und sobald man diese mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, strömt die $+E$ in den Boden über und die $-E$ verbreitet sich auf der hintern Belegung. Die $-E$ auf der hintern Belegung wirkt aber bindend auf die $+E$ der vordern, und dadurch wird es möglich, daß von neuem Elektricität vom Conductor aus auf die vordere Belegung übergeht, die auch durch ihre vertheilende Kraft wieder die $-E$ auf der hinteren Belegung vermehrt. Man kann auf diese Weise leicht die eine Belegung mit $+E$, die andere mit $-E$ laden.

So klein auch die Entfernung der beiden Belegungen sein mag, so ist doch die gegenseitige Bindung nicht vollständig. Damit auf der einen Seite die E vollständig gebunden sey, muß auf der andern Seite ein Ueberschuß von Elektricität, also freie E vorhanden seyn. Man berühre die eine Belegung der geladenen Franklin'schen Tafel, etwa die hintere, mit dem Finger, während die vordere nicht mehr mit dem Conductor verbunden ist, so kann man nur etwas E ableiten, auf der hintern Belegung bleibt immer noch eine starke Ladung $-E$ zurück, welche vollständig gebunden ist. Damit aber diese $-E$ vollständig gebunden sey, ist durchaus erforderlich, daß auf der andern Seite ein Ueberschuß von $+E$ sich befinde. Daß es auch wirklich so sey, davon kann man sich leicht überzeugen. Nachdem man alle nicht gebundene $-E$ der hintern Belegung abgeleitet hat, berühre man

die vordere Belegung, so wird bei Annäherung des Fingers ein schwacher Funken überspringen, ein Beweis, daß hier freie Elektricität vorhanden war. Hat man nun von der vordern Belegung alle freie $+E$ weggenommen, so ist nun wieder auf der andern Seite freie $-E$, und man kann nun von der hintern Belegung einen schwachen Funken entlocken u. s. w.

Es läßt sich dieser Ueberschuß an Elektricität, welcher auf der einen Belegung vorhanden seyn muß, um die entgegengesetzte E auf der andern Seite vollständig zu binden, auch dem Auge sichtbar machen. Man befestige mit etwas Wachs auf jeder Seite der Tafel ein leichtes elektrisches Pendel in der Weise, wie man in Fig. 83 sieht, welche die Scheibe im Durchschnitt zeigt. Auf der Seite, auf welcher freie Elektricität sich befindet, wird das Pendel abgestoßen, während es auf der andern Seite gerade herunterhängt und mit der Belegung in Berührung bleibt. Berührt man die Seite, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so fällt das Pendel nieder, während das auf der andern Seite steigt. Man kann also durch abwechselndes Berühren auf der einen und auf der andern Seite abwechselnd das eine und das andere Pendel steigen machen.

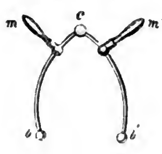
Fig. 83.



Diese Erscheinung mit den Pendeln läßt sich leicht erklären. Wenn auf der einen Seite ein Ueberschuß von $+E$ ist, so wirkt sie anziehend sowohl auf die E der andern Belegung, als auch auf die wenige Elektricität, die sich etwa im Kügelchen des Pendels befindet. Freilich wirkt die $-E$ der hintern Belegung abstoßend auf die $-E$ im Kügelchen, aber die Kraft, mit welcher der Ueberschuß der $+E$ das negative Kügelchen anzieht, ist größer als die Kraft der Abstoßung. Leitet man aber die überschüssige $+E$ ab, so verbreitet sich die freigewordene $-E$ zum Theil über das Kügelchen, welches nun abgestoßen wird, weil jetzt kein Ueberschuß von $+E$ auf der andern Seite mehr vorhanden ist, welcher es zurückhalten könnte.

Dadurch, daß man abwechselnd die eine und dann die andere Belegung mit dem Finger berührt und so immer die freie Elektricität auf der einen Seite wegnimmt, wird allmälig der Apparat ganz entladen. Wenn man aber die beiden Belegungen zugleich berührt, oder sie auf irgend eine andere Weise in leitende Verbindung setzt, so findet die Entladung auf einmal Statt, indem die angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Belegungen auf diesem Wege zu einander übergehen. Man wendet zu diesem Zwecke gewöhnlich den Fig. 84 dargestellten **Entlader** an. Er

Fig. 84.



besteht aus zwei gebogenen Messingstäben, $b\ c$ und $b'\ c$, welche bei c durch ein Charnier verbunden sind. Jeder der Arme des Ausladers endet mit einer kleinen Messingkugel (b und b') und ist außerdem noch mit einem isolirten Handgriff (m und m') versehen. Man berührt die eine Belegung mit der einen Kugel und nähert die andere Kugel der gegenüberstehenden Belegung. Schon in einiger Entfernung springt ein Funken mit lebhaftem Licht und lautem Knacken über. Diese Entladung ist leicht zu erklären. Nehmen wir an, die Kugel b sei mit derjenigen Belegung in Verbindung gebracht, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so wird sich diese freie E über den ganzen Auslader verbreiten; dadurch aber wird ein Theil der Elektricität auf der andern Belegung frei, und diese wirkt durch die Luftschicht hindurch, um die entgegengesetzte in der Kugel b' zu concentriren. Je näher nun die Kugel b' der zweiten Belegung gebracht wird, ein desto größerer Antheil der E in der berührten Belegung wird nach b' übergehen, bis endlich die Spannung hinreicht, um die Luftschicht zu durchbrechen, worauf dann natürlich eine vollständige Entladung erfolgt.

Hätte man die Kugel b mit derjenigen Belegung in Berührung gebracht, auf welcher sich keine freie E befindet, so hätte die freie E der andern Seite zersetzend auf die verbundenen Elektricitäten der genäherten Kugel b' gewirkt, in Folge dessen wäre ein Theil der bis dahin gebunden gewesenen E der berührten Belegung frei geworden, um nach b' überzugehen, bei hinlänglicher Annäherung von b' an die nicht berührte Belegung muß also ebenfalls die Entladung erfolgen.

Es ist nun noch die Frage zu beantworten, welches die Gränze der Ladung sei, welche man einer Franklin'schen Tafel ertheilen kann. Diese Gränze hängt von der Elektricitätsquelle ab, mit welcher man die eine Belegung in Berührung bringt.

Um die Betrachtung zu vereinfachen, wollen wir annehmen, man habe die eine Belegung nicht mit dem Conductor der Maschine in Berührung gebracht, welcher durch die Maschine stets neue Elektricität erhält, sondern mit einem isolirten Leiter, dem man eine bestimmte Ladung ertheilt hat. Sobald man diesen Leiter mit der einen Belegung in Verbindung bringt, wird ein Theil seiner Elektricität auf die Belegung übergehen; sobald man aber die andere Belegung mit dem Finger berührt, strömt eine bedeutend größere Menge von Elektricität von dem Leiter auf die Tafel über, es bleibt aber immer noch ein, wenn auch geringer, Theil freier Elektricität auf dem Leiter zurück. Damit auf der mit dem Finger berührten Belegung alle E gebunden sey, muß, wie wir schon wissen, auf der andern Seite noch freie Elektricität vorhanden seyn. Bezeichnen wir mit M die Menge aller Elektricität, welche sich auf der mit der Elektricitätsquelle berührten Belegung

befindet, so wird auf der andern Seite nicht eine gleiche Menge M der entgegengesetzten E gebunden, sondern eine geringere Menge, die wir mit m bezeichnen wollen. m wird ein aliquoter Theil von M seyn, der um so größer ist, je näher die Belegungen einander, je dünner also die Glasplatten sind. Nehmen wir an, es sey $m = 0{,}98\ M$. Die Elektricitätsmenge m auf der mit dem Finger berührten Belegung bindet aber einen Theil y der auf der andern Seite befindlichen Elektricitätsmenge M, und zwar wird für unsern Fall $y = 0{,}98\ m$ seyn. Setzt man nun für m seinen Werth $0{,}98\ M$, so kommt $y = 0{,}98^2\ M = 0{,}9604\ M$, d. h. von der Elektricitätsmenge M sind nahe $^{24}/_{25}$ gebunden und $^1/_{25}$ ist frei. Es wird also so lange von dem elektrisirten Leiter Elektricität auf die Belegung übergehen, bis die Dichtigkeit der gebundenen E 24mal so groß ist, als die Dichtigkeit der noch außerdem über diese Belegung verbreiteten freien E. Das Verhältniß zwischen der freien und gebundenen Elektricität ändert sich, wie schon bemerkt wurde, mit der Dicke der Glasscheibe. Man kann ganz allgemein sagen, daß die Gränze der Ladung erreicht sey, wenn die noch freie Elektricität ein Bruchtheil, $^1/n$, von der gebundenen ist.

Wenn man die eine Belegung der Tafel mit einer fortdauernden Quelle von Elektricität, etwa dem Conductor der Maschine, in Verbindung bringt, so ist die Sache ganz dieselbe. Wenn man die andere Belegung isolirt läßt, so geht eine bestimmte Menge Elektricität q auf die Belegung über, welche aber frei ist. Die Menge q wird durch fortgesetztes Drehen der Maschine nicht vermehrt, es ersetzt nur, was verloren geht. Wenn auf dem Conductor der Maschine ein Quadrantenelektrometer angebracht ist, so hat dies sehr bald eine Stellung erreicht, welche dem Maximum der Spannung entspricht, die man dem Conductor geben kann. Sobald man aber die andere, bisher isolirt gebliebene, Belegung mit dem Finger berührt, fällt das Electrometer auf der Stelle nieder, weil jetzt alle Elektricität vom Conductor gleich nach der Tafel hingezogen und daselbst gebunden wird. Die Bindung dauert jedoch nur so lange fort, bis das erwähnte Verhältniß zwischen der Menge der gebundenen und noch freien Elektricität stattfindet. Nun aber ist q das Maximum der Dichtigkeit der freien E, welche sich auf der Belegung verbreiten kann, folglich ist nq die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität, welche man auf der mit dem Conductor verbundenen Belegung anhäufen kann. Ist man einmal so weit gekommen, daß die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität $n$mal so groß ist, als die der E, welche sich auf der Belegung verbreitet haben würde, wenn die andere Belegung isolirt geblieben wäre, so ist die Gränze der Ladung erreicht, ein ferneres Umdrehen der Maschine ersetzt nur den elektrischen Verlust.

Nicht immer läßt sich die angegebene Gränze der Ladung erreichen, denn wenn man hinlänglich kräftige Maschinen anwendet, so werden die Widerstände, welche die völlige Vereinigung der Elektricitäten der beiden Belegungen hindern, schon eher überwunden, es erfolgt von selbst schon eine Entladung, ehe noch eine Gränze erreicht ist, indem entweder das Glas durchbrochen wird, oder ein Funken durch die Luft über den unbelegten Glasrand hin überschlägt.

Die Leidner Flasche ist eigentlich nur eine veränderte Form der Franklin'schen Tafel, sie besteht aus einem Glasgefäß, welches außen mit Staniol überklebt ist, welche Belegung bis auf einige Zoll vom Rande hinaufreicht; innen ist das Gefäß auf ähnliche Weise mit einer Belegung versehen oder mit einer leitenden Substanz, etwa Eisenfeile oder Schrotkörnern, gefüllt. Die innere Belegung ist mit einem Messingstab verbunden, welcher durch den Stopfen oder den Deckel des Gefäßes hindurchgeht und mit einem Knopfe endigt. Fig. 84 und Fig. 85 stellen zwei Formen der Leidner Flasche dar. Der nicht belegte Theil des Glases muß gefirnißt werden. Um die Flasche zu laden, bringt man die äußere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Man kann aber auch umgekehrt die innere Belegung mit dem Boden und die äußere mit dem Conductor der Maschine verbinden. 43

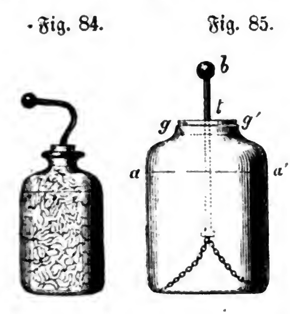


Fig. 84. Fig. 85.

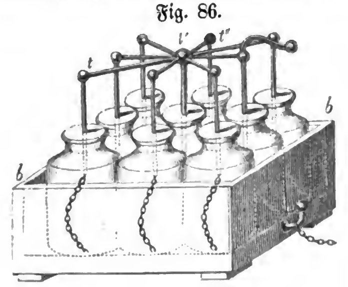
Auch die Leidner Flaschen entladen sich manchmal von selbst, indem entweder ein Funken von der äußeren Belegung zu dem Metallstab überspringt, oder indem das Glas durchbrochen wird. Im letztern Falle ist die Flasche natürlich für die Folge unbrauchbar.

Wenn man zur Entladung der Flasche mehrere Leiter zugleich anwendet, so wählt die Elektricität immer den besten. Drückt man z. B. mit der einen Hand einen Metalldraht an die äußere Belegung, so kann man ungestraft mit der andern Hand das andere Ende des Drahtes an den Knopf halten; der Entladungsschlag geht durch das Metall und nicht durch den Körper; der Draht darf jedoch nicht zu dünn seyn.

Um recht starke Ladungen zu erhalten, muß man möglichst große Flaschen nehmen, oder man muß mehrere Flaschen zu einer elektrischen

Batterie verbinden. Eine solche Batterie ist Fig. 86. dargestellt. Alle

Fig. 86.



äußeren Belegungen der Flaschen sind unter sich in leitender Verbindung, ebenso alle inneren Belegungen.

Wenn der Entladungsschlag einer Leidner Flasche durch den menschlichen Körper hindurchgeht, so bringt er auf das Gefühl eine eigenthümliche, schwer zu beschreibende Empfindung, ein unwillkürliches Zucken der Nerven hervor. Am besten macht man den Versuch, wenn man mit einer Hand die äußere Belegung, mit der andern den Knopf anfaßt. Bei schwächeren Ladungen ist der Schlag nur in den Vorderarmen fühlbar, stärker fühlt man ihn auch im Oberarm, und, wenn die Ladung noch stärker gemacht wird, so bringt der Schlag einen heftigen Schmerz in der Brust hervor. Sehr starke Schläge können in der That gefährlich werden. Um kleinere Thiere, wie Vögel, Hasen u. s. w. durch den elektrischen Schlag zu tödten, hat man noch nicht einmal große Batterien nöthig, mit welchen man selbst noch größere Thiere tödten kann. An den durch einen elektrischen Schlag getödteten Thieren hat man bei der anatomischen Untersuchung derselben bis jetzt noch keine Verletzung der Organe entdecken können, nach den Zuckungen aber, welche sie machen, wenn der Schlag nicht ganz hinreichend war, um sie zu tödten, kann man beurtheilen, wie heftig das ganze Nervensystem angegriffen worden ist.

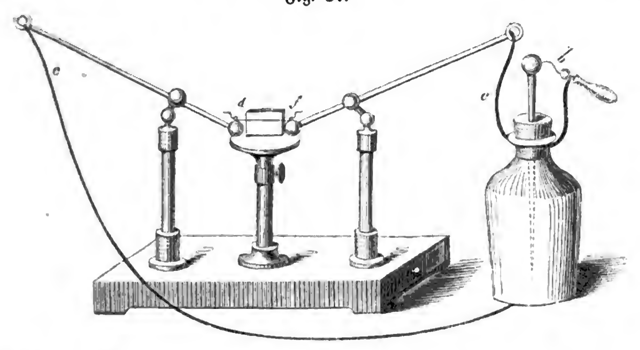
Wenn mehrere Personen eine Kette bilden, indem sie einander die Hände geben, und die erste die äußere Belegung der Flasche, die letzte den Knopf anfaßt, so fühlen alle den Schlag auf einmal.

Brennbare Flüssigkeiten kann man mit Hülfe der Leidner Flasche weit sicherer entzünden als mit dem directen Funken vom Conductor der Maschine. Selbst gepulvertes Colophonium, welches man auf Baumwolle streut, und Schießpulver kann man mit dem Entladungsfunken der Leidner Fsasche entzünden.

Zu sehr vielen Versuchen, die man mit dem Entladungsschlag der Leidner Flasche und der elektrischen Batterie anstellen kann, ist der Henley'sche allgemeine Auslader, welcher Fig. 87 (a. f. S.) dargestellt ist, ganz besonders bequem. Der eine Arm ist durch die Kette *c* mit der äußeren Belegung in leitender Verbindung, an dem andern Arm ist eine Kette *c'* befestigt, welche mit der isolirten Kugel *b* endigt. Wenn man den Funken durchschlagen lassen will, so faßt man die isolirende Handhabe der Kugel *b*

und nähert sie rasch dem Knopfe der Flasche. Der Funke schlägt bei *b* und zwischen den beiden Kugeln *d* und *f* über, welche auf einem isolirenden

Fig. 87.



Tischchen aufliegen.

Wenn man die Kugeln *d* und *f* durch einen sehr dünnen Eisendraht verbindet, so wird dieser erwärmt, wenn ein schwacher Schlag hindurchgeht, eine stärkere Ladung macht ihn rothglühend und eine noch stärkere macht, daß er in einzelnen geschmolzenen Kügelchen auseinanderfährt, die weithin fortgeschleudert werden.

Ein schmaler Streifen Zinnfolie, welcher 3 bis 4 Zoll lang ist, wird durch den Entladungsschlag einer gewöhnlichen Batterie verflüchtigt, der Dampf oxydirt sich und bildet lange in der Luft schwebende, Spinnengeweben ähnliche Fäden.

Auch andere Metalle werden auf diese Weise erhitzt, glühend gemacht, geschmolzen und oxydirt, wenn man sie aber von gleicher Länge und von gleichem Durchmesser nimmt, so bringt dieselbe Ladung nicht denselben Effect hervor. Die schlechteren Leiter, wie Platin und Eisen, werden, bei gleichen Dimensionen, weit stärker erwärmt, als Gold und Kupfer, welche bessere Leiter sind.

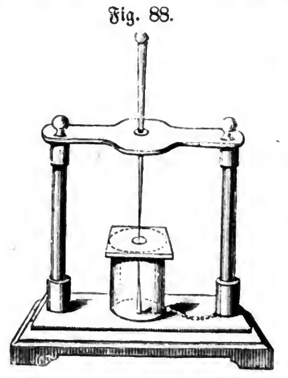
Mit Gold übersponnene Seidenfäden bieten eine eigenthümliche Erscheinung dar. Das Gold, welches sie bedeckt, wird verflüchtigt und oxydirt, ohne daß die Seide auch nur zerrissen worden wäre. Um diesen Versuch recht deutlich zu machen, hält man an den Faden ein Stück weißen Papiers, auf welchem man nach dem Schlage einen breiten Streifen von brauner Farbe sieht.

Schlechte Leiter, welche den Weg des Entladungsschlages unterbrechen, werden, wenn die Anhäufung der Elektricität bedeutend genug ist, zertrümmert oder durchlöchert. Eine Holzscheibe z. B., welche 3 bis 4 Zoll Durch-

7 *

messer hat und 3 bis 5 Linien dick ist, wird von dem Entladungsschlage durchbohrt. Ebenso ein oder mehrere Kartenblätter, Pappendeckel u. s. w. Um den Versuch zu machen, bringt man den zu durchlöchernden Körper zwischen die beiden Kugeln des Henley'schen Entladers und zwar so, daß diese Kugeln den eingeschobenen Körper berühren.

Fig. 88.



Um eine Glasplatte zu durchschlagen, muß man dafür sorgen, daß die Elektricität möglichst an einem Punkte concentrirt werde, die Glasplatte muß deshalb zwischen zwei einander genau gegenüberstehenden leitenden Spitzen befestigt seyn. Man kann zu diesem Zwecke den Apparat Fig. 88 anwenden. Die Glasplatte wird, bevor man sie in den Apparat einsetzt, mit einer dünnen Oelschicht überzogen. Am einfachsten läßt sich dieser Versuch so einrichten, daß man zwei Stecknadeln, die Spitzen einander zugekehrt, mit Hülfe von Wachs auf den beiden Seiten der Glasplatte befestigt und diese Vorrichtung so in den Henley'schen Auslader einschaltet, daß die Knöpfe der Stecknadeln mit den Kugeln d und f des Ausladers in Berührung kommen.

Fig. 89.

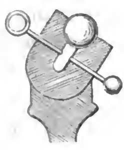
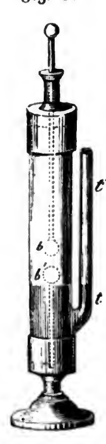
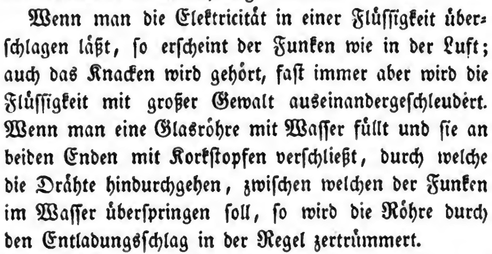


Fig. 90.





Wenn man die Elektricität in einer Flüssigkeit überschlagen läßt, so erscheint der Funken wie in der Luft; auch das Knacken wird gehört, fast immer aber wird die Flüssigkeit mit großer Gewalt auseinandergeschleudert. Wenn man eine Glasröhre mit Wasser füllt und sie an beiden Enden mit Korkstopfen verschließt, durch welche die Drähte hindurchgehen, zwischen welchen der Funken im Wasser überspringen soll, so wird die Röhre durch den Entladungsschlag in der Regel zertrümmert.

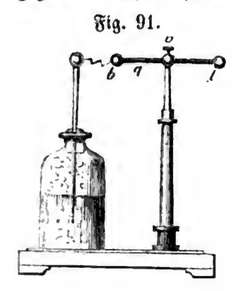
In Gasen bringt der elektrische Funken eine so große und plötzliche Expansion hervor, daß sie eine kleine Kugel mit Hülfe des elektrischen Mörsers, Fig. 89, fortschleudern kann. Kinnersley, welcher zuerst diese merkwürdige Erscheinung beobachtete, construirte auch einen Apparat, um ihre Intensität zu bestimmen. Kinnersley's Thermometer ist Fig. 90 abgebildet und wohl schon aus der Figur ohne weitere Erklärung ver-

ständlich; wenn zwischen den Kugeln *b b'* ein Funken überschlägt, steigt die Flüssigkeit in der Röhre *t t'*. Die Höhe des Steigens ist ein Maaß für die Expansion des Gases.

Auf der Oberfläche einiger Körper läßt der Funken einen Lichtschweif zurück, welcher mehrere Sekunden, ja oft über eine Minute lang leuchtet. Auf Kreide ist dieses phosphorische Licht roth oder violet, auf Zucker und krystallisirtem Kalkspath grünlich.

Eine für quantitative Untersuchungen vortreffliche Vorrichtung hat Lane angegeben. Auf demselben Fuße (Fig. 91), auf welchem die Flasche steht, ist ein vertikaler Stab befestigt, durch dessen oberes Ende ein horizontales mit zwei Kugeln endigendes Messingstäbchen hindurchgeht. Mit Hülfe der Schraube *v* kann man die Kugel *b* der Kugel der Flasche beliebig nähern und von derselben entfernen; der Stab *b l* ist eingetheilt, so daß man jederzeit mit Genauigkeit die Entfernung der Kugel *b* von der Kugel der Flasche ermitteln kann.

Fig. 91.



Der horizontale Stab *b l* steht mit der äußeren Belegung der Flasche durch den vertikalen Stab in vollkommen leitender Verbindung.

Wenn man die Kugel *b* in einer bestimmten Lage festgestellt hat, so wird der Funken überspringen, wenn die Ladung der Flasche eine gewisse Größe erreicht hat; so oft nun bei unveränderter Stellung der Kugel *b* eine Entladung der Flasche stattfindet, kann man überzeugt seyn, daß sie bis zu derselben Gränze geladen war.

Die Entfernung, auf welche der Entladungsfunken überspringt, die Schlagweite, ist ein Maaß für die Ladung der Flasche. Lane fand, daß bei gleichmäßigem Drehen der Elektrisirmaschine, welche die Flasche ladet, die Entladungen noch einmal so häufig sind, wenn die Kugel *b* nur $\frac{1}{2}'''$ weit von der Kugel entfernt war, als wenn diese Entfernung $1'''$ betrug. Harris und Rieß bestätigten dies und fanden ferner, daß die Schlagweite einer Flasche oder einer Batterie überhaupt der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional sey, daß also für eine Batterie von 2, 3, 4 u. s. w. ganz gleichen Flaschen eine 2=, 3=, 4mal so große Elektricitätsmenge zugeführt werden muß, als einer einzigen dieser Flaschen, wenn die Schlagweite unverändert bleiben soll.

Rieß wendet die Lane'sche Flasche an, um die Quantität der Elektricität zu messen, mit welcher eine Batterie geladen wird. Zu diesem Zwecke stellte er die Batterie auf ein durch Glasfüße isolirtes Gestell und setzte die äußere Belegung der Batterie mit der inneren der Lane'schen Flasche, die

äußere Belegung der Lane'schen Flasche aber mit einer großen unisolirten Metalloberfläche in leitende Verbindung. Wird nun der Batterie von dem Conductor der Elektrisirmaschine Elektricität zugeführt, so wird die abgestoßene positive Elektricität von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren Belegung der Lane'schen Flasche wandern und dadurch eine Ladung derselben bewirkt werden; hat aber diese Ladung eine gewisse Gränze erreicht, so folgt eine Entladung der Lane'schen Flasche. So oft nun bei fortgesetztem Drehen der Maschine eine Entladung der Lane'schen Flasche erfolgt, so oft ist von der äußeren Belegung der Batterie dieselbe Menge positiver Elektricität zu der Maaßflasche übergegangen, so oft ist also auch die Ladung der Batterie um eine gleiche Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie ist also der Anzahl der Selbstentladungen der Maaßflasche proportional.

Nachdem sich Rieß auf diese Weise ein genaues Maaß für die Ladung der Batterie verschafft hatte, konnte er auch über die Wirkungen des Entladungsschlages genauere Versuche anstellen.

Um die Gesetze der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsschlag zu ermitteln, wandte er ein schon von Harris zu diesem Zwecke construirtes Luftthermometer an, durch dessen Kugel ein dünner Platindraht hindurchging, welcher in den Weg des Entladungsschlages eingeschaltet wurde. Aus einer Reihe von Versuchen, bei denen bald die Größe der Ladung, bald die Anzahl der Flaschen (die aber alle unter sich gleich waren) verändert wurde, ergab sich, daß die Erwärmung des Drahtes dem Quadrate der Elektricitätsmenge proportional ist, mit welcher die Batterie geladen ist, sich aber umgekehrt wie die Oberfläche verhält, auf welche diese Elektricitätsmenge vertheilt war. Wenn also eine und dieselbe Flasche oder eine und dieselbe Batterie mit der doppelten, dreifachen u. s. w. Elektricitätsmenge geladen wird, so ist die Erwärmung, welche der Entladungsschlag in einem dünnen Drahte hervorbringt, 4mal, 9mal u. s. w. so groß. Wenn man aber 2, 3 u. s. w. gleiche Flaschen mit derselben Elektricitätsmenge ladet, so wird die Erwärmung des Drahtes durch den Entladungsschlag 2mal, 3mal u. s. w. geringer seyn, als wenn mit derselben Elektricitätsmenge nur eine solche Flasche geladen gewesen wäre.

Rieß fand ferner, daß die Temperaturerhöhungen verschiedener gleich langer Drähte desselben Metalls sich umgekehrt verhalten wie die Biquadrate ihrer Halbmesser oder, daß die in den Drähten frei gewordenen Wärmemengen den Querschnitten derselben umgekehrt proportional sind.

In einem 2mal, 3mal u. s. w. dickeren Drahte wird also derselbe Entladungsschlag eine 16mal, 81mal u. s. w. geringere Temperaturerhöhung hervorbringen; da aber die Massen dieser Drähte 4mal, 9mal größer sind, so ist klar, daß die in denselben frei werdende Wärmemenge

4mal, 9mal u. s. w. geringer ist als in einem Drahte von einfacher Dicke.

Wenn dieselbe Elektricitätsmenge in derselben Zeit durch Drähte gleichen Stoffes entladen wird, so ist nach Rieß ihre Erwärmung von der Länge des Drahtes unabhängig, im Falle aber durch die Verlängerung des Schließungsbogens die Entladung verzögert wird, ist die Erwärmung der Dauer der Entladung umgekehrt proportional.

Wenn man eine Leidner Flasche entladen hat und sie dann nur ganz kurze Zeit stehen läßt, so giebt sie einen zweiten freilich weit schwächeren Entladungsschlag. Der Grund davon ist wohl der, daß der Ueberschuß von Elektricität, welcher sich auf der inneren Belegung befindet, eine neue Ladung veranlaßt. Die Elektricität bleibt nicht bloß auf den metallischen Belegungen der Leidner Flasche, sondern sie geht zum Theil auf die Oberfläche des Glases über. Daß die Sache wirklich so sey, läßt sich an einer Flasche zeigen, deren Belegungen man wegnehmen kann. Eine solche Flasche ist Fig. 92 dargestellt. Nachdem man sie geladen hat, nehme man die innere Belegung heraus und entlade sie vollständig. Dann hebe man das Glasgefäß aus der äußern Belegung und nehme auch dieser alle ihre Elektricität. Setzt man nun das Glas wieder in die äußere Belegung und die innere in das Glas, so findet man, daß die Flasche noch zum Theil geladen ist, und diese Ladung hatte offenbar auf den gegenüberstehenden Oberflächen des Glasgefäßes gehaftet.

Fig. 92.



Geschwindigkeit der Elektricität. Mit Hülfe der Leidner Flasche hat man die Geschwindigkeit zu bestimmen gesucht, mit welcher sich das elektrische Fluidum durch die Körper verbreitet. Isolirte Metalldrähte, die eine Gesammtlänge von einer halben Meile haben, werden von dem Entladungsschlage momentan durchlaufen. Diese Versuche wurden in England und Frankreich in den Jahren 1745 bis 1750 angestellt. In dieser Zeit stellte man auch Versuche über die Fortpflanzung der Elektricität im Wasser und in feuchtem Boden an. Von einem gegebenen Punkte ausgehend, wurde ein mehrere hundert Toisen langer Metalldraht, durch Pflöcke von trocknem Holze isolirt, über ein Terrain von sehr abwechselnder Natur und über Flüsse hinweggeleitet und das entfernte Ende in den Boden gesteckt. Am Ausgangspunkte wurde eine geladene Flasche auf den Boden gestellt und mit dem einen Ende des Drahtes der Knopf berührt. Der elektrische Schlag ging durch die ganze Länge des Drahtes hindurch, ging dann in den Boden über, um in demselben zur äußeren Belegung der Flasche zurückzukehren. 44

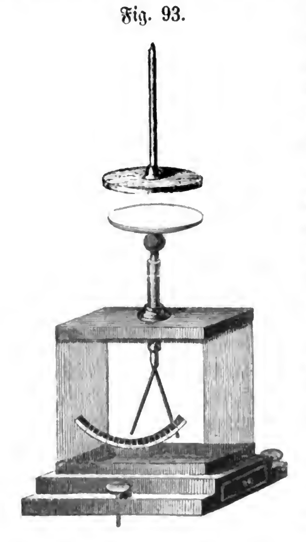
Der Länge des Weges und der mannigfachen Hindernisse ungeachtet, erfolgte die Entladung der Flasche ebenso momentan, als ob man

einen gewöhnlichen Auslader angewendet hätte. Näheres Seite 111.

45 **Die Lichtenbergischen Figuren,** welche einen charakteristischen Unterschied zwischen den beiden Elektricitäten anzudeuten scheinen, lassen sich besonders gut mit der Leidner Flasche darstellen. Man lade die innere Belegung mit positiver Elektricität und lasse dann einen Funken vom Knopf auf eine dünne Harzscheibe schlagen. Wenn man dann die Harzscheibe mit einem Staube pudert, welcher geneigt ist, die negative Elektricität anzunehmen (wie semen lycopodii, pepulvertes Colophonium u. s. w.), so zeigt der Staub die Form eines strahlenförmigen Sternes. Ladet man aber die innere Belegung mit negativer Elektricität, läßt man auf eine zweite Harzscheibe den negativen Funken vom Knopfe überschlagen, so bildet der aufgepuderte Staub strahlenlose Ringe oder Zonen. Man bedient sich zu den negativen Figuren am besten eines Staubes, der leicht positiv elektrisch wird wie fein zerriebener Mennig.

46 **Der Condensator.** Eigentlich ist jeder Apparat ein Condensator, in welchem gebundene Elektricität angehäuft wird, also auch die Franklin'sche Tafel und die Leidner Flasche. Man wendet jedoch diese Benennung nur für solche Apparate an, welche dazu dienen, Elektricität von sehr geringer Spannung durch Verdichtung merklich zu machen. Im Wesentlichen bestehen alle Condensatoren aus zwei leitenden Platten, welche durch eine nichtleitende Schicht getrennt sind. Indem wir die unvollkommeneren Instrumente der Art übergehen, soll hier nur von dem Condensator die Rede seyn, wie man ihn in Verbindung mit dem Goldblattelektrometer anwendet. Auf das Goldblattelektrometer wird eine Metallplatte aufgeschraubt, wie man sie Fig. 93 sieht. Diese Platte ist möglichst eben abgeschliffen und auf ihrer obern Fläche mit einer ganz dünnen Schicht von Firniß versehen; dieser Firniß, durch Auflösen von Schellack in Weingeist erhalten, wird, noch sehr leichtflüssig, mit einem Pinsel aufgetragen und trocknet dann sehr rasch. Eine zweite auf dieselbe Weise präparirte Platte, welche mit einem isolirenden Stiele versehen ist, wird nun mit ihrer gefirnißten Fläche auf die andere gesetzt, so daß die beiden Metallplatten nur durch die dünne Firnißschicht getrennt sind, sonst aber so

Fig. 93.



vollkommen als nur immer möglich auf einander passen. Diese Anordnung entspricht der Franklin'schen Tafel vollkommen, die Glasplatte ist durch die dünne Schellackschicht ersetzt, die Platten dienen statt der Belegungen, nur kann man hier die obere Platte nach Belieben abheben, während die beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel fest sind. Weil die isolirende Schicht so außerordentlich dünn ist, die Platten also einander sehr nahe sind, so ist hier eine sehr vollständige Bindung möglich. Bringt man die untere Condensatorplatte mit einer schwachen Elektricitätsquelle in Berührung, während man die obere ableitend mit dem Finger berührt, so wird der Condensator ganz auf dieselbe Weise geladen, wie die Leidner Flasche, deren äußere Belegung nicht isolirt ist, während die innere mit dem Conductor der Maschine in Verbindung steht. Der ganze Unterschied liegt nur darin, daß man ein Mal eine Elektricitätsquelle von großer, das andere Mal eine solche von geringer elektrischer Spannung hat; in beiden Fällen aber findet auf gleiche Weise eine Verdichtung der E Statt.

Ist der Condensator geladen, so wird die obere Platte abgehoben (und zwar möglichst vertikal, damit die Berührung beider Platten in allen Punkten in demselben Moment aufgehoben wird); dadurch wird die bis dahin gebundene E der untern Platte frei, sie geht in die Goldblättchen hinab und bewirkt ihre Divergenz. Weiter unten, bei der Lehre vom Galvanismus, werden wir zahlreiche Anwendungen dieses Condensators kennen lernen.

Fünftes Kapitel.

Vom elektrischen Lichte und den Bewegungen elektrisirter Körper.

47 Die stärksten elektrischen Entladungen, welche auf einem Körper angehäuft sind, geben nie auch nur den geringsten Lichtschein von sich, so lange das elektrische Gleichgewicht besteht und die elektrischen Flüssigkeiten in Ruhe sind. Die erste Bedingung für die Erscheinung des elektrischen Lichtes ist also Bewegung der Flüssigkeiten und Störung des Gleichgewichtes. Diese Bedingung ist immer nöthig, aber keineswegs hinreichend; es bedarf nämlich außerdem noch, daß die Spannung, welche das elektrische Ausströmen bedingt, hinlänglich groß sey. Während z. B. die Elektricität einer weniger kräftigen Maschine durch einen Metalldraht in den Boden überströmen kann, ohne daß man ein Leuchten im Dunkeln wahrnimmt, sieht man bei Anwendung starker Maschinen den Draht mit einem hellen Schein umge-

ben. Die zur Hervorbringung des elektrischen Lichtes nöthige Spannung hängt von dem Zustande, der Gestalt und der Leitfähigkeit der Mittel ab, durch welche sich die Elektricität bewegen muß. Manchmal geben ganz schwache Spannungen ein helles Licht, in anderen Fällen reichen wieder die stärksten Spannungen nicht hin, den geringsten Lichtschein zu geben.

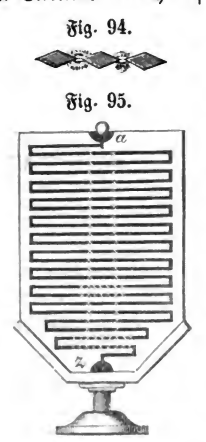
48 **Das elektrische Licht in der Luft und in anderen Gasen unter dem Drucke der Atmosphäre.** Die Schlagweite, auf welche hin man aus einem elektrisirten Körper einen Funken ziehen kann, hängt von der Leitfähigkeit der Substanz, von der Größe ihrer Oberfläche und von der Stärke der elektrischen Ladung ab. Aus eckigen Körpern und aus Spitzen strömt die Elektricität von selbst, schon bei ganz schwacher Spannung, aus, und man beobachtet dabei im Dunkeln glänzende Lichtbüschel, die oft mehrere Zoll lang sind. Bei runden Körpern sind schon sehr starke Ladungen nöthig, wenn von selbst Funken hervorspringen sollen; wenn man ihnen aber einen mit dem Boden in Verbindung stehenden Leiter nähert, so springen Funken, nach Umständen selbst auf große Entfernungen über, die dann einen dem Blitz ähnlichen Zickzack bilden.

Um die Funken zu vervielfältigen, muß man den Leiter, durch welchen die Elektricität in den Boden überströmt, oft unterbrechen, darauf beruhen mehrere Spielereien.

Mit Metallperlen, die auf einen Seidenfaden aufgereiht sind, jedoch so, daß jede Perle von der folgenden durch Knoten mehrere Millimeter weit entfernt gehalten wird, kann man Namenszüge und allerlei Figuren bilden, welche so lange leuchten als man die Maschine dreht, von deren Conductor die Elektricität durch diese Kette in den Boden strömt.

Fig. 94.

Fig. 95.



Blitzröhren sind Glasröhren, auf welchen man rautenförmige Staniolblättchen so aufgeklebt hat, daß ihre einander zugekehrten Spitzen etwa so nahe stehen, wie man Fig. 94 sieht. Gewöhnlich klebt man sie so auf, daß sie eine um die Röhre laufende Schraubenlinie bilden. Wenn man das eine Ende einer solchen Röhre in der Hand haltend, das andere an den Conductor der Maschine bringt, während sie gedreht wird, so sieht man im Dunkeln fortwährend zwischen je zwei Rauten Funken überspringen, so daß eine fast zusammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erscheint.

Eine Blitztafel ist Fig. 95 dargestellt. Auf einer Glastafel ist eine Reihe von Staniolstreifen aufgeklebt, wie man es in der Figur sieht, so daß

von a bis z eine metallische Leitung ginge, wenn sie nicht an den mit × bezeichneten Stellen unterbrochen wäre. Wenn man nun z mit der äußeren Belegung einer Leidner Flasche in Verbindung bringt und dann eine leitende Verbindung zwischen a und dem Knopfe der Flasche herstellt, so springen gleichzeitig an allen Unterbrechungsstellen Funken über. Man kann auf diese Weise Namenszüge und allerlei Figuren darstellen.

Man hat diese Spielereien noch auf mannigfache Weise abgeändert, diese Beispiele mögen jedoch genügen.

Der Lichtbüschel, welchen man im Dunkeln beobachtet, wenn man auf dem Conductor der Elektrisirmaschine eine Spitze auffetzt, von welcher die Elektricität ausströmt, ist Fig. 96 dargestellt. Die negative (Harz=) Elektricität giebt niemals so divergente und große Lichtbüschel wie die positive. Dieses merkwürdige Phänomen ist sehr beachtungswerth, weil es einen unterscheidenden Charakter der beiden elektrischen Flüssigkeiten darzubieten scheint.

Fig. 96.



Wenn man eine Metallspitze in die Hand nimmt und sie dem Conductor der Maschine nähert, so beobachtet man auch den Lichtbüschel.

In verdichteter atmosphärischer Luft ist der Funken einer Elektrisirmaschine sehr lebhaft, in Kohlensäuregas weiß und intensiv, in Wasserstoffgas roth und schwach, in Wasserdampf gelb, in Alkohol und Aetherdampf apfelgrün.

Die Lichterscheinungen der Maschinenelektricität sind eine treue, wenn auch schwache Nachbildung der elektrischen Lufterscheinungen, welche man bei Gewittern beobachtet. Wir werden in der Meteorologie auf diesen Gegenstand zurückkommen.

49 **Elektrisches Licht im verdünnten Raume.** Wenn eine an beiden Enden mit Metallfassungen versehene mehrere Fuß lange Glasröhre luftleer gemacht ist und man das eine Ende mit dem Conductor der Maschine, das andere mit dem Boden in Verbindung setzt, so sieht man im Innern derselben ein lebhaftes Leuchten. Da die Elektricität in der verdünnten Luft nur einen schwachen Widerstand findet, so breitet sie sich in der ganzen Röhre aus und bezeichnet den Weg, den sie zurücklegt, durch Feuerstreifen. Wenn die Verbindung gehörig unterhalten wird, so erscheint das Licht fest und gleichförmig; wenn man aber von außen her einen leitenden Körper nähert, so wird das Licht nach dieser Seite hingezogen und wird zugleich heller.

Man nimmt zu diesem Versuche gewöhnlich gerade, mehrere Zoll weite Glasröhren. Eine etwas andere Form dieses Apparates ist Fig 97 (a. f. S.) dargestellt, das Glasgefäß ist nämlich von elliptischer Form. An beiden

Enden sind Metallfassungen angebracht; die Fassung auf der einen Seite ist mit einem Hahn versehen und kann auf eine Luftpumpe aufgeschraubt werden. Die Fassung der andern Seite ist mit einer Lederbüchse versehen, durch welche der mit dem Knopf b' endigende Messingdraht hindurchgeht, so daß man den Knopf b' nach Belieben dem Knopf b nähern kann. Wenn man den Apparat möglichst luftleer gemacht hat, so strömt die Elektricität leicht über und erfüllt das ganze Gefäß mit Licht. Wenn man durch den Hahn etwas Luft einströmen läßt, so wird das Licht weniger diffus und bildet purpurfarbene Lichtbogen zwischen b und b'. Jemehr Luft man einläßt, desto mehr nimmt die Ausdehnung der Lichterscheinung ab,

Fig. 97.

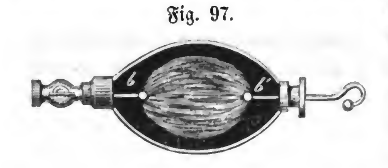
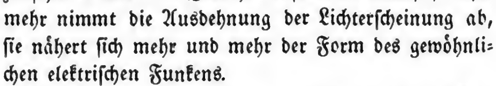
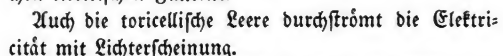




Fig. 98.



sie nähert sich mehr und mehr der Form des gewöhnlichen elektrischen Funkens.



Auch die toricellische Leere durchströmt die Elektricität mit Lichterscheinung.



Picard bemerkte zuerst, daß ein Barometer im Dunklen leuchtet, wenn das Quecksilber auf und nieder schwankt, und bald überzeugte man sich, daß diese Erscheinung von der durch die Reibung des Quecksilbers an den Wänden der Röhre entwickelten Elektricität herrühre. Um das elektrische Licht in der toricellischen Leere zu beobachten, construirte Cavendish das Fig. 98 dargestellte Doppelbarometer, dessen Anwendung wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist.

Ueber die Dauer des elektrischen Lichtes hat Wheatstone wichtige Untersuchungen angestellt. In Fig. 99 sey a ein leuchtender Punkt, etwa eine Kerze, b sey ein ebener Spiegel, dessen Ebene vertikal steht, und welcher um eine vertikale Axe drehbar ist, c endlich sey das Auge des Beobachters; $a\,b\,c$ sollen in einer Horizontalebene liegen. Wenn der Spiegel ruhig steht, sieht das Auge c das Bild des Punktes a im Spiegel b an einer bestimmten Stelle, die sich ändert, wenn der Spiegel gedreht wird; ist die Drehung rasch genug, so erscheint statt des Kerzenbildes ein Lichtstreif, indem der Lichteindruck von alle den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, nach einer Zeitlang im Auge noch wirkt, und man so den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es schon an einer ganz andern Stelle angekommen ist.

Fig. 99.

a b c

Wenn man nun dafür sorgt, daß an der Stelle der Kerze ein elektrischer Funken überspringt, so wird bei rascher Rotation des Spiegels das Bild des Funkens ebenfalls in die Länge gezogen erscheinen, wenn der elektrische Funken nur eine ganz geringe Dauer hat.

Der Spiegel war an einen rotirenden Apparat so befestigt, daß er 50 Umdrehungen in einer Sekunde machte; um einen Bogen von 1^0 zu durchlaufen, brauchte also der Spiegel $\frac{1}{50.360}$tel und also um einen Winkel von $\frac{1}{2}^0$ zu durchlaufen $\frac{1}{36000}$tel Sekunde. Nun aber ist den Lehren der Optik zufolge die Winkelgeschwindigkeit des Bildes doppelt so groß als die des Spiegels, folglich legt das Bild in $\frac{1}{72000}$ tel Sekunde einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad zurück, wenn also die Dauer des elektrischen Funkens auch nur $\frac{1}{72000}$tel Sekunde betrüge, so müßte schon sein Bild im rotirenden Spiegel als ein $\frac{1}{2}^0$ breiter Streifen erscheinen.

Nach einander bot nun Wheatstone in einer Entfernung von 10 Fuß dem Spiegel 4 Zoll lange Funken einer Elektrisirmaschine dar, ferner Entladungen einer Leidner Flasche, ein 4 Fuß langes Glasrohr, worin der elektrische Funken längs einer schraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überspringen mußte, ein luftleeres Glasrohr von 6′ Länge, in welchem der Funken beim Durchgang eine ununterbrochene Linie von geschwächtem elektrischen Lichte erzeugte u. s. w. Allein in allen diesen Fällen erschienen die reflectirten Bilder, wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, vollkommen umgeändert und genau auf eben die Weise, als ob sie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären.

Die Dauer eines solchen elektrischen Funkens beträgt also sicherlich nicht $\frac{1}{72000}$tel Sekunde.

Wenn ein Rad rasch umgedreht wird, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterscheiden, wenn aber ein rasch rotirendes Rad in einem dunklen Zimmer plötzlich durch einen elektrischen Funken erleuchtet wird, so unterscheidet man die einzelnen Speichen deutlich, als wenn das Rad ganz in Ruhe wäre.

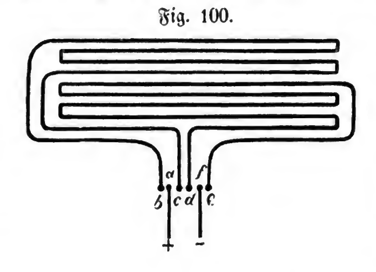
Hält man eine evacuirte Röhre nahe an den Conductor der Elektrisirmaschine, so erblickt man zuweilen einen zusammenhängenden Lichtstrom, untersucht man aber denselben in dem Spiegel, so findet man, daß diese Continuität nur scheinbar ist und von einer raschen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

Wheatstone wandte den rotirenden Spiegel auch an, um die Geschwin-

digkeit zu ermitteln, mit welcher die Elektricität einen sehr langen Leiter durchläuft. Die Vorrichtung, die er dazu angewandt hat, war ungefähr folgende:

Auf einem $3\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser haltenden Brett, dem Funkenbrett, waren 6 Kugeln, *a b c d e* und *f* (Fig. 100) gehörig isolirt befestigt. An der Kugel *a* war ein Draht befestigt, welcher mit der innern Belegung einer Leidner Flasche in Verbindung gebracht werden konnte; die Kugel *b* war von *a* um 0,1 Zoll entfernt, von *b* aber führte ein Draht in vielen Windungen nach der Kugel *c*. Die Kugel *d* war nun ebenfalls 0,1 Zoll von *c* entfernt, und von *d* führte ein gleichfalls vielfach gewundener Draht zur Kugel *e*, welcher in einer Entfernung von 0,1 Zoll die Kugel *f* gegenüberstand, von welcher endlich ein Draht zur äußeren Belegung der Flasche führte. Wenn nun der letzterwähnte Draht wirklich die äußere Belegung der geladenen Flasche berührt, so mußte, wenn man mit dem an *a* befestigten Drahte die Kugel der Flasche berührte, ein Funken zwischen *a* und *b*, ein zweiter zwischen *c* und *d*, ein dritter zwischen *e* und *f* überspringen.

Fig. 100.



Es fragt sich nun, sind diese 3 Funken vollkommen gleichzeitig, auch wenn die Länge der Drahtwindungen sehr bedeutend ist?

Bei den von Wheatstone angestellten Versuchen betrug die Länge der Drahtwindungen zwischen *b* und *c* $\frac{1}{4}$ englische Meile. Ebenso lang war die Länge des Drahtes zwischen *d* und *e*, so daß der Weg, welchen der elektrische Strom von der inneren zu der äußeren Belegung zu durchlaufen hatte, $\frac{1}{2}$ englische Meile betrug.

Die 6 Kugeln des Funkenbrettes lagen in einer horizontalen Linie.

Zehn Fuß vom Funkenbrett entfernt in gleicher Höhe mit demselben war nun der Apparat mit dem rotirenden Spiegel angebracht. Diesmal war die Rotationsaxe wagerecht und den 6 Kugeln parallel. Der Beobachter stellte sich so, daß die Rotationsaxe gerade gegen ihn gerichtet war, und sah dann von oben auf den Spiegel herab. Die Kugeln oder vielmehr die zwischen ihnen überspringenden Funken waren also sichtbar, wenn der Spiegel gerade einen Winkel von 45° mit der Horizontalen machte. Wäre der Spiegel in dieser Stellung ruhig stehen geblieben, so würde man die Bilder der drei Funken so ⋮ gesehen haben, bei rascher Rotation aber erscheinen alle drei in die Länge gezogen, und außerdem erschien die mittlere noch gegen die äußeren verrückt und zwar so ⚌, wenn der

Spiegel von der rechten zur linken rotirte, und so ═══, wenn die Richtung der Rotation die entgegengesetzte war.

Daraus ergeben sich nun folgende wichtige Resultate:

1) wenn der Entladungsdraht sehr lang ist, so erfolgt keine momentane, sondern eine successive Entladung, weshalb die Funken in die Länge gezogen erscheinen.

2) Da die beiden äußeren Funken im Spiegelbilde ihre gegenseitige Lage behalten, so erscheinen also die beiden äußeren Funken vollkommen gleichzeitig, der elektrische Strom beginnt also gleichzeitig von den beiden Belegungen gegen die Mitte des Entladungsdrahtes hin, der mittlere Funken erscheint aber später, da sein Bild gegen das der äußeren Funken verrückt erscheint.

Bei diesem Rotationsapparate machte der Spiegel 800 Umdrehungen in der Sekunde, woraus folgt, daß, wenn der Funken nur einen Bestand von $\frac{1}{1152000}$ Sekunde hat, er um einen halben Grad verlängert erscheinen muß, also ungefähr so lang, wie ein Zoll in einer Entfernung von 10 Fuß erscheint.

Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die äußeren betrug ungefähr $\frac{1}{2}^{0}$, der mittlere Funken erschien also ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ Sekunde später als die beiden äußeren, in dieser Zeit hatte also der elektrische Strom einen Weg von $\frac{1}{4}$ englische Meile zurückgelegt, in einer Sekunde legt er also einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$ englischen Meilen zurück, eine Geschwindigkeit, welche größer ist, als die des Lichtes im Weltraum, welches in einer Sekunde nur 194000 englische Meilen durchläuft.

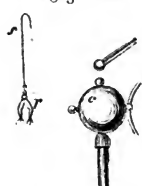
Bewegungen, welche durch das Ausströmen von Elektricität hervorgebracht werden. 50 Die Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen sind bereits besprochen worden, es bleiben hier nur noch einige andere durch die Elektricität bewirkte Bewegungen zu betrachten. Auf eine leitende Spitze *c p*, Fig. 101, welche mit dem Conductor der Maschine in Verbindung steht, ist ein an beiden Enden nach entgegengesetzten Richtungen umgebogenes und zugespitztes Metallstäbchen *t t'* so aufgesetzt, daß es sich im Gleichgewicht befindet, aber sich leicht auf der Spitze in horizontaler Ebene umdrehen läßt. Ein solcher Apparat führt den Namen eines elektrischen Flugrades. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad zu rotiren, und wenn man es im Dunkeln beobachtet, sieht man an den Spitzen die Elektricität in Gestalt von Lichtbüscheln ausströmen.

Fig. 101.

Diese Bewegung wird durch das Ausströmen des elektrischen Fluidums aus den beiden Spitzen hervorgebracht und ist eine der Umdrehung der Segner'schen Wasserräder ganz analoge Erscheinung.

51 **Bewegungen durch den elektrischen Rückschlag.** Froschschenkel, die, wie Fig. 102 zeigt, in der Nähe des Conductors einer Elektrisirmaschine aufgehängt sind, scheinen gar keine Veränderung zu erleiden, wenn durch Drehen der Maschine der Conductor *c* mit $+E$ geladen wird; jedoch wird er durch Vertheilung elektrisch, die angezogene $-E$ sammelt sich bei *r*, die abgestoßene $+E$ entweicht durch den Draht *s* in den Boden. Sobald man nun aus dem Conductor *c* einen Funken zieht, bringt die plötzliche Wiedervereinigung der Elektricitäten in dem Froschschenkel Zuckungen hervor, ein Beweis, daß bei der Rückkehr in den natürlichen Zustand die Moleküle der Körper durch den Druck der elektrischen Flüssigkeiten afficirt werden, welche sich wieder zu vereinigen streben. Diese Wirkungen werden mit dem Namen des Rückschlags bezeichnet. Mit einem Frosche, welcher schon 5 bis 6 Stunden getödtet ist, würde man den Versuch vergebens anstellen, er gelingt aber sehr gut mit einem eben getödteten oder noch besser mit einem noch lebenden.

Fig. 102.



In der Nähe einer kräftigen Maschine empfindet auch ein Mensch, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht, ähnliche Schläge. Später, wenn von den Wirkungen des Blitzes die Rede seyn wird, werden wir sehen, daß eine Gewitterwolke durch einen directen Schlag und durch den Rückschlag wirken kann.

Sechstes Kapitel.

Elektricität, entwickelt durch Druck und Wärme.

52 Wir haben gesehen, daß, wenn man zwei Flächen durch Reiben an einander elektrisch macht, die eine positiv, die andere negativ elektrisch wird; wir haben ferner gesehen, daß die Tension der Elektricität, welche unter diesen Umständen entwickelt wird, von der Natur der Körper, dem Zustande der Oberflächen und ihrer Temperatur abhängt. Diese mechanische Ursache der Elektricitätsentwickelung ist jedoch nicht die einzige; durch Veränderungen des Drucks und der Temperatur wird ebenfalls Elektricität frei.

Elektricitätsentwickelung durch Druck. Wenn man eine Metallplatte auf ein Stück Wachstaffet setzt und sie an einem isolirenden Hand-

griff aufhebt, nachdem man etwas gedrückt hat, so findet man, daß die Metallscheibe negativ, der Taffet positiv elektrisch geworden ist. Dieser Versuch rührt von Libes her. Haüy hat gezeigt, daß auch viele Mineralien mit glatten und polirten Oberflächen durch Druck elektrisch werden. Ein Stück Kalkspath mit ebenen und parallelen Flächen z. B. wird, wenn man es etwas zwischen den Fingern drückt, ziemlich stark positiv elektrisch. Dasselbe findet auch beim Topas, dem Flußspath, dem Glimmer, dem Arragonit, dem Quarz und mehreren anderen Substanzen Statt, jederzeit hängt aber die entwickelte Elektricität von der Natur des drückenden Körpers ab. Haüy hat auch gefunden, daß die durch Druck elektrisch gewordenen Mineralien die Eigenschaft haben, mehrere Stunden, ja selbst mehrere Tage lang elektrisch zu bleiben. In dieser Hinsicht ist der Kalkspath ganz besonders merkwürdig, indem er selbst noch nach 11 Tagen entschiedene Zeichen von Elektricität giebt. Auf dieser Eigenschaft des Kalkspaths beruht die von Haüy construirte elektrische Nadel, welche Fig. 103 abgebildet ist. Sie ist der auf Seite 62 beschriebenen gewöhnlichen elektrischen Nadel ganz ähnlich, nur ist an dem einen Ende statt der Kugel von Metall ein Stückchen Kalkspath $c\ c'$ befestigt, welches durch Drücken zwischen den Fingern elektrisch gemacht wird.

Fig. 103.

Elektricitätserregung durch Wärme. 53

Der Turmalin hat die Eigenschaft, leichte Körper anzuziehen und abzustoßen; in Indien, wo dies Mineral sehr verbreitet ist, kannte man diese Eigenschaft schon vor Jahrhunderten. Eine so auffallende Erscheinung konnte der Aufmerksamkeit der Reisenden und selbst der Kaufleute nicht entgehen; die Holländer machten diese merkwürdigen elektrischen Eigenschaften des Turmalins in Europa bekannt, wo sie bald von den Physikern näher untersucht wurden. Ganz besonders beschäftigten sich Canton, Priestley, Bergmann, Aepinus und Haüy damit. Folgende sind die wichtigsten Resultate ihrer Untersuchungen.

1) Ein durch Erwärmen elektrisch gemachter Turmalinkrystall zeigt an den beiden Enden seiner krystallographischen Hauptaxe zwei entgegengesetzte Pole, d. h. an einem Ende ist er positiv, am andern negativ elektrisch. Die elektrischen Flüssigkeiten sind also in dem Turmalin ungefähr auf die Weise vertheilt wie die magnetischen Fluida in einem Stahlstab.

2) Wenn man einen Turmalin, während er elektrisch ist, quer durchbricht, so hat jedes Stück wieder seine beiden Pole.

Für jeden Turmalin giebt es zwei Temperaturgränzen, zwischen welchen die elektrischen Erscheinungen stattfinden. Unterhalb und oberhalb dieser

Gränze verhält sich der Turmalin wie jeder andere Körper, er zeigt keine elektrische Polarität. Diese Temperaturgränzen sind gewöhnlich 10° und 150°. Für Turmaline von gleichen Dimensionen sind diese Gränzen fast dieselben, sie ändern sich aber mit der Länge.

4) Wenn man einen Turmalin regelmäßig erwärmt, d. h. so, daß an allen Punkten seiner Oberfläche das Steigen der Temperatur dasselbe ist, so wird das eine Ende positiv, das andere negativ, und jeder Pol behält seine Elektricität, so lange die Temperatur steigt.

5) Wenn ein Turmalin durch Erwärmen elektrisch geworden ist und darauf regelmäßig erkaltet, so verschwindet für einen Augenblick alle Elektricität, dann kehrt sich die Polarität um, d. h. derjenige Pol, welcher während des Erwärmens positiv war, wird jetzt negativ, der bisher negative wird positiv. Dann aber bleibt die Lage der Pole unverändert, so lange die Temperatur sinkt.

6) Die polarischen Eigenschaften scheinen nur von dem Wechsel der Temperatur abzuhängen, so daß ein Turmalin bei einer gegebenen Temperatur sich in drei verschiedenen Zuständen befinden kann, nämlich im natürlichen Zustande, den er so lange behält, als sich die Temperatur nicht ändert. Er hat eine bestimmte Polarität, wenn die Temperatur im Steigen, die entgegengesetzte, wenn sie im Sinken ist.

7) Haüy hat manchmal eine Umkehrung der Pole während des Erwärmens und während des Erkaltens beobachtet. Diese Erscheinung, welche nicht immer stattfindet, hängt vielleicht von der verschiedenen Temperatur der äußeren und inneren Schichten ab.

Fig. 104.

Um die hier besprochenen elektrischen Erscheinungen des Turmalins zu untersuchen, haben die meisten Beobachter den zu untersuchenden Krystall in einem Papierschiffchen an einem Faden aufgehängt, so daß seine Längenaxe horizontal zu liegen kam; Haüy legte ihn auf den Fig. 104 dargestellten Apparat.

Es giebt noch manche andere Krystalle, welche ähnliche elektrische Eigenschaften haben wie der Turmalin.

Dritte Abtheilung.

Vom Galvanismus.

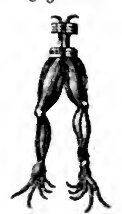
Erstes Kapitel.

Elektricitätsentwickelung durch Contact.

Entdeckung des Galvanismus. Im Jahre 1789 beobachtete Aloysius Galvani, Professor der Medicin in Bologna, eine ganz eigenthümliche Erscheinung. Er hatte zum Zwecke verschiedener Untersuchungen Froschschenkel präparirt und hing sie zufällig mittelst kleiner Haken von Kupfer an einem eisernen Balcongeländer auf und sah, daß sie lebhafte Zuckungen machten. Ein gewöhnlicher Beobachter würde sich mit einer oberflächlichen Erklärung begnügt und sich alsbald wieder mit anderen Dingen beschäftigt haben. Galvani war weniger voreilig in seinem Urtheile; mit durchdringender Beobachtungsgabe und seltenem Scharfsinne ausgerüstet, erkannte er in dieser Erscheinung ein neues Princip und wurde so der Schöpfer eines der wichtigsten Zweige der Physik, welcher nach ihm den Namen Galvanismus führt. 54

Die Froschschenkel, an welchen Galvani seine Beobachtungen machte, waren in der Weise präparirt, wie man Fig. 105 sieht. Nachdem das eben getödtete Thier durchgeschnitten ist, wird von dem unteren Theile rasch die Haut abgezogen, und indem man die Spitze der Scheere unter die beiden Schenkelnerven bringt, welche auf jeder Seite der Wirbelsäule als weiße Fäden erscheinen, nimmt man mit zwei Schnitten die zwei oder drei untersten Rückenwirbel weg, so daß die Schenkelnerven bloß liegen und die unteren Glieder nur durch sie mit den oberen Wirbelknochen zusammenhängen. Galvani hatte den kupfernen Haken in der Wirbelsäule befestigt und beobachtete jedesmal eine Zuckung der Schenkel, so oft sie mit dem eisernen Geländer in Berührung kamen. So oft die Berührung erfolgt, biegen sich die Beine und bewegen sich, als ob sie noch Leben hätten. Diese Wirkungen beobachtet man selbst noch nach einigen Stunden, allein sie nehmen meistens schnell ab, und gewöhnlich beobachtet man 20 bis 30

Fig. 105.



Minuten nach dem Tode des Thieres nur noch sehr schwache Zuckungen der Muskeln.

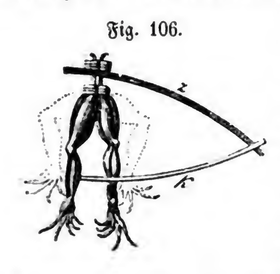
Indem Galvani genau die Umstände angab, unter welchen die Erscheinung erfolgt, hat er sie wohl von den unbestimmten convulsivischen Bewegungen unterschieden, welche man an Insekten, Reptilien und Fischen oft noch lange nach ihrer Verstümmelung beobachtet. Galvani, welcher sehr für die Idee eingenommen war, daß es eine besondere Nerven- oder Lebensflüssigkeit gebe, stand nicht an, von dem Phänomen eine Erklärung zu geben, welche er mit seinen Lieblingstheorien in Uebereinstimmung brachte. Die Zuckungen der Froschschenkel, sagte er, werden durch eine Flüssigkeit hervorgebracht, welche vermittelst einer äußeren Leitung von den Nerven zu den Muskeln überströmt; diese Flüssigkeit befindet sich in den Nerven, sie geht durch den Leitungsbogen, d. h. den Kupferhaken und das Eisen, hindurch und geht von demselben auf die Muskeln in dem Momente über, in welchem sie das Eisen berühren. Diese neue Flüssigkeit wurde die galvanische Flüssigkeit genannt, und man dachte sich die organischen Körper in Beziehung auf diese Flüssigkeit ungefähr wie eine Leidner Flasche, deren Belegungen einerseits die Nerven, andererseits die Muskeln sind.

Der Lärm dieser Entdeckung verbreitete sich bald über Deutschland, Frankreich und England; überall beeilte man sich, die Versuche zu wiederholen und abzuändern; das Phänomen selbst erregte großes Erstaunen, aber die Hoffnung, in den organischen Körpern eine feine Flüssigkeit, ein Lebensprincip aufzufinden, steigerte die Neugierde der Gelehrten noch mehr. Außerdem erschienen diese Ideen gerade in einer Zeit großer Entdeckungen und Reformen, alle Geister waren in Bewegung und schienen durch den Reiz der Neuheit hingerissen.

Jede Hypothese ist gut, wenn sie zu Entdeckungen führt, und auch die Hypothese Galvani's hatte sich eine Zeitlang eines günstigen Erfolges zu erfreuen. Um sie aber fruchtbar zu machen, mußte man vage Betrachtungen zulassen und sich auf unbestimmte Thatsachen stützen; man mußte sich in die Fragen über die Functionen des Lebens und die Geheimnisse der Organisation verwickeln. Diese Fragen, welche die Menschen schon vielfach beschäftigt haben, aber wohl für immer unbeantwortet bleiben werden, kamen wieder sehr in Aufnahme, die besten Köpfe ließen sich hinreißen, und wer weiß, auf welchen Irrwegen man sich noch verloren hätte, wenn nicht bald ein Mann von kühnem Geiste diesen unnützen Versuchen ein Ende gemacht hätte. Dieser Mann war Alexander Volta, welcher schon damals durch mehrere wichtige Entdeckungen über Elektricität bekannt war. Volta, Professor zu Pavia, wiederholte Galvani's Versuche mit unermüdlicher Aufmerksamkeit und fand bald, daß ein zum

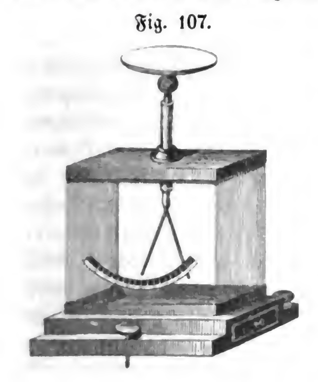
Gelingen des Versuchs sehr wichtiger Umstand bis dahin ganz übersehen worden war. Um nämlich eine starke Wirkung zu haben, ist es durchaus nöthig, daß der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, aus zwei verschiedenen Metallen besteht, welche mit einander in Berührung sind. Er stellte den Versuch an, wie man Fig. 106 sieht. Ein Theil, *z*, des Leitungsbogens ist Zink, der andere Theil, *k*, ist Kupfer. Beide Metalle müssen an der Stelle, wo sie sich einander berühren, und auch da, wo sie den Froschschenkel berühren, eine vollkommen metallische Oberfläche haben. Volta schloß aus seinen Versuchen, daß der Froschschenkel nicht wie eine Leidner Flasche zu betrachten sey; daß die hier wirkende Flüssigkeit weder in den Nerven, noch in den Muskeln, sondern durch den Contact der beiden Metalle entwickelt werde und daß sie mit dem gewöhnlichen elektrischen Fluidum vollkommen identisch sey. Volta's Ansichten wurden von Galvani und seinen Anhängern bekämpft, jede Partei suchte die Richtigkeit ihrer Theorie durch neue Versuche zu bekräftigen, endlich aber wurde doch Volta's Meinung allgemein als die richtige angenommen.

Fig. 106.



Directe Beweise für die Elektricitätsentwickelung durch Contact. 55 Die Idee, daß durch die bloße Berührung heterogener Körper Elektricität entwickelt werde, fand nur nach und nach Glauben; die Strenge der Wissenschaft verlangte directe und entscheidende Beweise, welche Volta auch bald gab. Diesen directen Beweis führte er mit Hülfe eines Apparates, den er selbst erst einige Jahre früher erfunden hatte, nämlich mit Hülfe des Condensators, den wir schon oben (Seite 104) kennen gelernt haben.

Fig. 107.



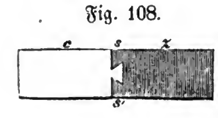
Der Versuch wird auf folgende Weise angestellt. Nachdem man sich überzeugt hat, daß der auf das Goldblattelektrometer, Fig. 107, geschraubte Condensator seine Ladung gut hält und, nachdem man ihn wieder in seinen natürlichen Zustand versetzt hat, setzt man die obere Platte durch Berührung mit dem Finger mit dem Boden in leitende Verbindung, während man die untere Platte mit einem Stücke Zink berührt, welches dadurch, daß man es in der

andern Hand hält, auch mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Es versteht sich von selbst, daß die Oberflächen der Condensatorplatten da, wo sie nicht mit einander in Berührung stehen, nicht gefirnißt seyn dürfen, denn sonst wäre ja kein metallischer Contact zwischen Zink und dem Messing (welches sich fast ganz so wie reines Kupfer verhält) der einen Condensatorplatte möglich. Zieht man nun, nachdem die Berührung nur einen Augenblick gedauert hat, den Finger von der oberen, das Zink von der unteren Platte zurück, hebt man darauf die obere Condensatorplatte ab, so erhält man eine merkliche Divergenz der Goldblättchen. Woher kommt diese Elektricität? Sie kann offenbar nur von dem Contact des Zinks und des Kupfers der unteren Condensatorplatte herrühren; hier ist es, wo eine besondere Kraft wirkt, um die elektrischen Fluida zu trennen und in Bewegung zu setzen; die positive Elektricität geht auf das Zink und von da in den Boden über, die negative hingegen wird auf die untere messingene oder kupferne Condensatorplatte getrieben und auf derselben gebunden, indem sie zersetzend auf die obere Platte wirkt. Wird nun die obere Platte abgehoben, so kann sich die in der unteren Platte gebundene $-E$ frei verbreiten und die Divergenz der Goldblättchen bewirken.

Wenn man den Versuch in der Weise wiederholt, daß man die obere Condensatorplatte mit dem Zink, die untere mit dem Finger berührt, so divergiren die Goldblättchen mit positiver Elektricität.

Wendet man statt des Zinks ein Stück desselben Metalls an, aus welchem die Condensatorplatten gemacht sind, so erhält man keine Wirkung; alle anderen Metalle aber bewirken eine Divergenz der Goldblättchen. Blei, Zinn, Eisen, Wismuth und Antimon werden, in Berührung mit Kupfer (Messing), wie das Zink $+$ elektrisch, laden also die Condensatorplatte, welche man mit ihnen berührt, mit $-E$; hingegen Gold, Silber, Palladium, Platin und Kohle bringen die entgegengesetzte Wirkung hervor, sie werden $-$ elektrisch und laden die kupferne oder messingene Condensatorplatte mit $+E$. Diese Versuche sind entscheidend, sie geben aber von der Kraft, welche hier die Elektricität erzeugt, noch keine vollkommene Vorstellung, denn man könnte ja glauben, daß sie nur im Augenblicke der Berührung wirkte, daß die Elektricität vielleicht von einer Reibung, von einem Drucke der Metalle herrühre. Um in dieser Hinsicht alle Zweifel zu lösen, hatte **Volta** die sinnreiche Idee, eine **doppelte Platte**, Fig. 108, zu machen; die eine Hälfte ist von Zink, die andere von Kupfer, und diese beiden Metalle sind bei ss' zusammengelöthet. Nimmt man nun das Zink dieser Doppelplatte in die Hand, indem man mit dem Kupfer die untere

Fig. 108.



Condensatorplatte berührt und die obere Condensatorplatte mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, so erhält man denselben Ausschlag der Goldblättchen wie beim vorigen Versuche. An der Stelle, wo sich Zink und Kupfer berühren, ist also nach jahrelangem Contacte noch dieselbe Kraft thätig, wie im ersten Augenblicke der Berührung.

56 **Von der elektromotorischen Kraft.** Diese an den Berührungsstellen heterogener Körper wirkende Kraft führt den Namen elektromotorische Kraft; sie hat ihren Sitz an den Berührungsstellen und wirkt daselbst beständig zersetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten, indem sie die $+E$ auf den einen, die $-E$ auf den andern Körper treibt. Wenn also die doppelte Platte, Fig. 108, isolirt ist, kann sie sich nicht im natürlichen Zustande befinden.

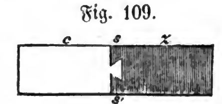
Wir wollen jetzt versuchen, die Natur dieser elektromotorischen Kraft so viel als möglich kennen zu lernen.

Betrachten wir die doppelte Platte vorerst im Zustande der Isolation. Durch die an der Berührungsfläche wirkende elektromotorische Kraft wird eine bestimmte Quantität neutraler Elektricität zerlegt, es wird also gleichviel positive und negative Elektricität frei, die $-E$ geht auf das Kupfer, die $+E$ auf das Zink über. Da nun aber die elektromotorische Kraft fortwährend thätig ist, so sollte man glauben, daß bald so viel neutraler Elektricität zersetzt seyn müßte, daß sich die $+E$ auf dem Zinke sowohl als auch die $-E$ auf dem Kupfer im Zustande starker Spannung befände. Der Versuch zeigt uns aber, daß dem nicht so sey; die Spannung der freien Elektricität auf beiden Metallen ist so gering, daß wir ja des Condensators bedürfen, um sie nur merklich zu machen.

Wie läßt sich diese Thatsache nun mit der ungeschwächten Fortdauer der elektromotorischen Kraft zusammenreimen? Die elektromotorische Kraft, welche die Elektricitäten trennt, hindert auch, daß die $+E$ auf das Kupfer und die $-E$ auf das Zink zurückgeht, sie hindert also die Wiedervereinigung der getrennten Elektricitäten; die an der Gränzfläche thätige elektromotorische Kraft wirkt also hier gerade so wie das Glas einer Leidner Flasche oder wie die Harzschicht eines Condensators. Die auf der einen Platte eines geladenen Condensators befindliche $+E$ zieht die $-E$ der andern Platte an, ihre Vereinigung wird einzig und allein durch die beide Platten trennende nichtleitende Harzschicht verhindert. Wir haben aber gesehen, daß die Ladung, welche man einem Condensator ertheilen kann, ihre Gränze hat, daß bei stärkeren Ladungen die isolirende Harzschicht durchbrochen wird und also eine Entladung erfolgt. Hier nun ist es ganz ähnlich: die elektromotorische Kraft kann nur so lange die entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Metalle getrennt erhalten, bis ihre Spannung eine gewisse Gränze erreicht hat. Nehmen wir an, eine

Doppelplatte, Fig. 109, sey isolirt, die beiden Metalle seyen bis zu jener Gränze mit den ihnen zukommenden Elektricitäten geladen, und man theile dem Zink auf irgend eine Weise noch mehr $+ E$, dem Kupfer ebensoviel $- E$ mit, so werden diese neuen Ladungen nicht auf dem Kupfer und dem Zink getrennt bleiben, weil die an ihren Gränzflächen wirkende elektromotorische Kraft ihre Vereinigung nicht hindern kann. Es geht daraus hervor, daß die elektrische Spannung auf dem Zink und dem Kupfer trotz der fortdauernd wirkenden elektromotorischen Kraft diese Gränze nicht überschreiten kann; denn alle durch die elektromotorische Kraft von Neuem entwickelten Elektricitäten würden sich ja sogleich wieder vereinigen.

Fig. 109.

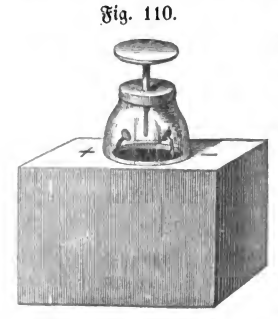


Nun ist die Frage, wie sich die Elektricität auf dem Kupfer und auf dem Zink vertheilt? Auch hierin finden wir eine vollkommene Analogie mit dem Condensator. Die größte Menge der einen Condensator oder eine Leidner Flasche ladenden Elektricität ist auf den einander zugekehrten, durch die isolirende Schicht getrennten Metallflächen verdichtet, ein ungleich geringerer Theil verbreitet sich frei über die ganze übrige Oberfläche der metallischen Belegung. Ebenso ist es hier; der größte Theil der durch den Contact entwickelten Elektricität bleibt an der Berührungsfläche beider Metalle gebunden, während ein weit geringerer Theil sich frei über die Metalle verbreitet.

Volta stellte sich die Sache ganz anders vor, er glaubte, die elektromotorische Kraft treibe die entwickelten Elektricitäten von der Berührungsfläche weg. Daß Volta's Ansicht hierin irrig sey, und daß die Sache sich so verhalte, wie so eben auseinandergesetzt wurde, hat Fechner durch vielfache Versuche dargethan, unter denen wir nur folgenden hervorheben.

Man schraube auf das verbesserte Bohnenberger'sche Elektroskop, Fig. 110, dessen genaue Beschreibung erst später, bei Gelegenheit der trocknen Säulen, gegeben werden kann, statt einer Condensatorplatte eine Kupferplatte von ungefähr 8^{cm} Durchmesser auf und setze auf diese eine eben so große Zinkplatte. Es ist wesentlich, daß die beiden Metallflächen vollkommen eben sind, damit eine möglichst vollständige Berührung stattfinden könne; man erreicht dies am besten dadurch, daß man die beiden Metallplatten auf einander abschleift. Durch die metallische Berührung der beiden Platten wird

Fig. 110.



Elektricität entwickelt, aber die auf dem Kupfer sich frei verbreitende — E ist von so geringer Spannung, daß sie keinen Ausschlag des Goldblättchens bewirken kann; dieser Ausschlag erfolgt aber sogleich, wenn man die Zinkplatte abhebt. Für das Gelingen des Versuchs ist es unerläßlich nöthig, daß die Zinkplatte vollkommen parallel mit der Kupferplatte abgehoben werde, so daß nicht einige Punkte der Zinkplatte länger mit dem Kupfer in Berührung bleiben als andere.

Dieser Versuch, welcher zugleich der einfachste und sicherste Beweis für die Elektricitätserregung beim Metallcontacte ist, ohne daß dabei ein Condensator ins Spiel käme, beweis't, daß in der That der größte Theil der dürch die elektromotorische Kraft entwickelten Elektricität an der Berührungsfläche gebunden bleibt, weil sie erst durch das Abheben der Zinkplatte frei wird.

Es ist klar, daß mit der Größe der Berührungsfläche auch die Menge der an derselben gebundenen Elektricität zunimmt. Berührt man die auf das Elektroskop aufgeschraubte Kupferplatte nur mit dem Rande der Zinkplatte, so wird man nach dem Wegnehmen der Zinkplatte auch keinen Ausschlag erhalten, weil an den wenigen Berührungspunkten nicht viel Elektricität gebunden seyn konnte. Aus diesem Umstande ergiebt sich auch, wie wichtig das parallele Abheben der Zinkplatte für das Gelingen des Versuchs ist.

Wenn man die Zinkplatte gehörig parallel abhebt, so erhält man einen Ausschlag, welcher zeigt, daß das Kupfer, in Berührung mit Zink, — elektrisch geworden ist. Dieser Ausschlag erfolgt mit gleicher Stärke, man mag die Zinkplatte isolirt oder nicht isolirt abheben.

Dies zeigt die Richtigkeit der Behauptung, daß der größte Theil der durch die elektromotorische Kraft entwickelten Elektricität an der Berührungsstelle gebunden bleibt, so lange die Berührung dauert, und daß nur ein verhältnißmäßig sehr unbedeutender Theil sich frei über die beiden Metalle verbreitet. Die Quantität der gebundenen Elektricität ist der Größe der Berührungsfläche proportional, dahingegen ist die Spannung, welche der sich frei verbreitende Antheil der Elektricität erreichen kann, von der Größe der Berührungsfläche unabhängig. Bei dem oben (Seite 117) beschriebenen Volta'schen Fundamentalversuche ist es deshalb auch ganz gleichgültig, ob die untere Condensatorplatte an vielen oder an wenigen Punkten mit dem Zinke in Berührung ist.

Nach diesen Betrachtungen sind wir nun auch im Stande, den Hergang des so eben wieder erwähnten Volta'schen Fundamentalversuchs deutlicher einzusehen. Denken wir uns, man habe die obere Condensatorplatte noch nicht aufgesetzt, die untere aber mit dem Zink berührt, so wird sich etwas — E auf der Messingplatte verbreiten, deren Spannung

jedoch so gering ist, daß sie keine Divergenz der Goldblättchen bewirken kann. Bezeichnen wir die Dichtigkeit der freien Elektricität, welche sich unter diesen Umständen auf der Messingplatte verbreitet, mit d. Nun werde die obere Condensatorplatte aufgesetzt und ableitend mit dem Finger berührt, so wird die freie E der untern Condensatorplatte nach der Harzschicht strömen, an welcher sie gebunden wird; in dem Maaße aber, in welchem die freie Elektricität der untern Messingplatte durch diese Condensation weggenommen wird, wird auch durch die fortwährend thätige elektromotorische Kraft an der Berührungsstelle des Zinks dieser Verlust ersetzt, bis die auf der untern Condensatorplatte frei verbreitete Elektricität wieder die Dichtigkeit d, und also die an die Harzschicht gebundene Elektricität die Dichtigkeit $n\ d$ hat (Seite 96). Eine nur einen Augenblick dauernde Berührung der unteren Condensatorplatte mit dem Zink reicht schon hin, den Condensator vollständig zu laden.

Wenn eine isolirte Kupferplatte mit einer gleich großen ebenfalls isolirten Zinkplatte in Berührung gebracht wird, so ist die Quantität der auf die Zinkplatte übergehenden $+ E$ genau so groß wie die Menge der auf das Kupfer übergehenden E. Gerade deshalb aber kann die Elektricität auf dem einen Metalle die auf dem andern befindliche nicht vollständig binden, auf jedem Metalle muß also eine, wenn auch geringe Menge Elektricität frei seyn, gerade wie bei einer Franklin'schen Tafel auf jeder Seite etwas Elektricität frei ist, wenn auf der einen Belegung sich gerade so viel $- E$ befindet als $+ E$ auf der andern. Damit die Elektricität auf der einen Belegung vollständig gebunden sey, muß sich auf der andern Seite ein Ueberschuß der entgegengesetzten Elektricität befinden. Bei den sich berührenden heterogenen Metallplatten findet ein ganz analoges Verhältniß Statt. Wenn man eine der isolirten Metallplatten, etwa die Zinkplatte, ableitend mit dem Finger berührt, während die Kupferplatte isolirt bleibt, so wird die freie $+ E$ der Zinkplatte abgeleitet; durch diese Ableitung wird aber auf der Kupferplatte wieder eine Quantität $- E$ frei, die Spannung der freien $- E$ auf der Kupferplatte nimmt also zu, wenn die Zinkplatte ableitend berührt wird.

Hätte man bei Anstellung des Volta'schen Fundamentalversuchs (S. 118) die untere Condensatorplatte mit einem isolirten Stücke Zink berührt, so würde begreiflicher Weise der Effect ungleich geringer ausgefallen seyn, als wenn das Zinkstück nicht isolirt gewesen wäre.

Bezeichnen wir mit $+ e$ die Dichtigkeit der freien Elektricität, welche sich auf einer isolirten Zinkplatte verbreitet, wenn man sie mit einer gleich großen, ebenfalls isolirten, Kupferplatte berührt, so ist $- e$ die Dichtigkeit der entgegengesetzten Elektricität, welche sich über das Kupfer frei verbreitet. Wenn man eine Platte, etwa die Zinkplatte, ableitend berührt,

so kann man alle freie Elektricität ableiten, die Dichtigkeit der auf der berührten Platte zurückbleibenden freien Elektricität ist also Null. Auf der Kupferplatte muß aber dadurch von Neuem gerade so viel negative Elektricität frei werden, als man positive Elektricität von dem Zink ableitete; die Dichtigkeit der Elektricität auf der Kupferplatte wird also $-2e$. Man kann allgemein sagen: Wenn eine der beiden sich berührenden Metallplatten isolirt ist, die andere aber nicht, so ist die Dichtigkeit der freien Elektricität auf der isolirten Platte doppelt so groß, als sie seyn würde, wenn auch die andere Platte isolirt geblieben wäre.

Mögen nun die beiden sich berührenden heterogenen Platten isolirt seyn oder nur eine derselben, so bleibt doch die Differenz der elektrischen Spannungen auf beiden dieselbe. Wenn die eine Platte ableitend berührt ist, so ist die Spannung auf ihr 0, auf der andern $2e$, die Differenz dieser beiden Spannungen ist also auch $2e$. Wenn beide isolirt sind, so ist die Tension auf der einen $+e$, auf der andern $-e$, und die Differenz dieser beiden Tensionen ist abermals $2e$. Ja selbst, wenn man von irgend einer andern Elektricitätsquelle her Elektricität auf das Plattenpaar leitet, bleibt diese Differenz unverändert dieselbe, indem sich die neu zugeführte Elektricität frei über das ganze System verbreitet. Gesetzt, man leite auf das Plattenpaar so viel positive Elektricität, daß sie, frei über dasselbe verbreitet, eine Dichtigkeit $10e$ habe, so wird sich diese Elektricität mit der schon durch die elektromotorische Kraft auf beiden Platten erzeugten vereinigen. Die Dichtigkeit der freien positiven Elektricität, welche durch die elektromotorische Kraft auf der Zinkplatte verbreitet wird, ist e, was mit jenen zugeleiteten $10e$ zusammen $+11e$ macht. Auf der Kupferplatte ist aber durch die Wirkung der elektromotorischen Kraft negative Elektricität von der Dichtigkeit $-e$ verbreitet; diese negative Elektricität neutralisirt eine gleiche Quantität der zugeleiteten positiven Elektricität, von den zugeleiteten $+10e$ bleiben also $+9e$ übrig. Die Tension auf der Zinkplatte ist also $+11e$, auf der Kupferplatte $+9e$, also die Differenz $+2e$. Dasselbe Resultat stellt sich heraus, welches auch die Natur und die Quantität der dem Plattenpaare zugeleiteten Elektricität seyn mag. *Die elektrische Differenz beider Platten bleibt unverändert.*

57 **Die Spannungsreihe.** Die elektrischen Spannungen, welche durch die elektromotorische Kraft entwickelt und auf die sich berührenden Körper verbreitet werden, sind nicht für alle Stoffe gleich. Die Metalle sind gute *Elektromotoren*, man beobachtet jedoch in dieser Hinsicht einen großen Unterschied unter denselben. So wird z. B. Zink, in Berührung mit Platin, stärker positiv elektrisch als in Berührung mit Kupfer; das Kupfer wird, in Berührung mit Zink, negativ, in Berührung mit Platin, positiv

elektrisch. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe von Körpern, so geordnet, daß jeder der vorangehenden, in Berührung mit allen folgenden, positiv elektrisch wird.

+
Zink
Blei
Zinn
Eisen
Kupfer
Silber
Gold
Platin
Kohle.
—

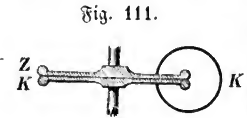
Wir wollen mit

$Z\ B$	die elektrische	Differenz	zwischen	Zink	und	Blei
$Z\ K$	»	»	»	Zink	»	Kupfer
$Z\ P$	»	»	»	Zink	»	Platin
$B\ K$	»	»	»	Blei	»	Kupfer
$B\ P$	»	»	»	Blei	»	Platin
$K\ P$	»	»	»	Kupfer	»	Platin

bezeichnen.

Man schraube auf das Goldblattelektrometer, Fig. 107, eine Condensatorplatte von Kupfer, setze auf dieselbe eine Condensatorplatte von Zink und verbinde die beiden Platten durch einen Kupferdraht in der Weise, wie man Fig. 111 sieht. Durch die Berührung des Kupferdrahtes mit der (oben nicht lackirten) Zinkplatte wird Elektricität entwickelt, die auf dem Zink sich verbreitende freie $+E$ wird an der die beiden Platten trennenden Harzschicht condensirt, während die $-E$ durch den Kupferdraht auf die Kupferplatte übergeht und dort condensirt wird. Nach einer nur ganz kurzen Berührung wird sich der Condensator geladen haben; man nimmt nun den Kupferdraht weg und hebt die Zinkplatte ab, so werden die Goldblättchen divergiren, und zwar ist ihre Divergenz offenbar der elektrischen Differenz $Z\ K$ zwischen Zink und Kupfer proportional.

Fig. 111.



Nun nehme man statt des verbindenden Kupferdrahtes einen Bleidraht. Wenn nur zwischen Zink und Blei eine elektromotorische Kraft thätig wäre, nicht aber zwischen Blei und Kupfer, so würde die Kupferplatte eine Ladung annehmen, welche der elektrischen Differenz $Z\ B$ zwischen Zink und Blei

proportional ist. Außer der $-E$ aber, welche von dem Blei auf die Kupferplatte übergeht, erhält dieselbe aber auch noch eine fernere Ladung, welche von der zwischen Blei und Kupfer thätigen elektromotorischen Kraft abhängt, durch welche das Kupfer ebenfalls negativ erregt wird, die Ladung der Kupferplatte muß also der Summe $ZB + BK$ proportional seyn. Wenn man aber nun den Bleidraht entfernt und die obere Condensatorplatte abhebt, ist die Divergenz der Blättchen gerade eben so groß als beim ersten Versuch, mithin ist

$$ZB + BK = ZK,$$

d. h. die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer ist gleich der Summe der elektrischen Differenzen zwischen Zink und Blei, Blei und Kupfer.

Hätte man statt des Bleidrahtes einen Platindraht angewendet, so würde die Kupferplatte eine negative Ladung ZP angenommen haben, wenn nur an der Berührungsstelle zwischen Zink und Platin eine elektromotorische Kraft thätig wäre. Durch Platin wird das Kupfer positiv erregt, die Ladung der Kupferplatte kann offenbar nur $ZP - KP$ seyn. Aber auch hier erhält man wieder denselben Ausschlag als ob der Verbindungsdraht von Kupfer gewesen wäre, mithin ist

$$ZP - KP = ZK$$

und daraus

$$ZK + KP = ZP.$$

Die elektrische Differenz zwischen Zink und Platin ist die Summe der elektrischen Differenzen zwischen Zink und Kupfer, Kupfer und Platin.

Von welchem Metall man auch den Verbindungsbogen der beiden Platten nehmen mag, man erhält stets dieselbe Ladung des Condensators, und daraus folgt, daß die elektrische Differenz je zwei beliebiger Glieder in der Spannungsreihe gleich ist der Summe der elektrischen Differenzen der Zwischenglieder.

Aus unseren Versuchen folgt auch ferner, daß, wenn man drei Metalle auf einander schichtet, die elektrische Spannung der Endplatten stets dieselbe ist, als ob sich diese Endplatten unmittelbar berührten und alle Zwischenplatten fehlten. Wenn also bei dem letzten Versuch die beiden Endplatten aus demselben Metalle bestehen, so wird ihre elektrische Ladung Null seyn; wenn die beiden Condensatorplatten aus demselben Metall gemacht sind, so erhält man keine Divergenz, welches Metall man auch zum Verbindungsbogen anwenden mag.

Auch wenn man vier, fünf oder noch mehr verschiedene Metalle in beliebiger Ordnung auf einander folgen läßt, ist die Spannung der freien

Elektricität auf den Endgliedern stets dieselbe, als ob sie unmittelbar in Berührung mit einander wären.

Alle Metalle nehmen eine bestimmte Stellung in der Spannungsreihe ein; die Kohle verhält sich in dieser Hinsicht ganz wie ein Metall, sie ist noch mehr elektronegativ als Platin. Auch viele zusammengesetzte Körper nehmen eine bestimmte Stellung in der Spannungsreihe ein, z. B. Braunstein, Eisenoxyd, Schwefeleisen, Schwefelblei u. s. w.; andere zusammengesetzte Körper aber, namentlich Flüssigkeiten, gehorchen den Gesetzen der Spannungsreihe durchaus nicht.

So wird z. B. Zink, in Berührung mit reinem Wasser, negativ elektrisch. Wenn nun das Wasser in die Spannungsreihe eingeschaltet werden sollte, so müßte man es nach seinem Verhalten gegen Zink noch über dieses Metall setzen. Nähme das Wasser wirklich diese Stelle in der Spannungsreihe ein, so müßte Platin in Berührung mit Wasser, bei weitem stärker negativ erregt werden als Zink. Die Erfahrung zeigt aber das Gegentheil, das Platin wird, in Berührung mit Wasser, weit weniger negativ als Zink; man sieht also, daß das Wasser ein Körper ist, welcher den Gesetzen der Spannungsreihe nicht gehorcht. Ein ähnliches Verhalten zeigt die verdünnte Schwefelsäure, sie erregt Zink und Kupfer negativ, allein diese negative Erregung ist beim Zink stärker als beim Kupfer; Platin und Gold werden durch verdünnte Schwefelsäure positiv erregt.

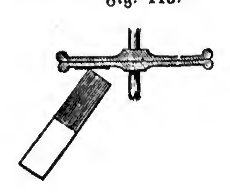
Dieses eigenthümliche Verhalten der Flüssigkeiten erklärt die folgende Erscheinung. Man halte an die untere Condensatorplatte, welche aus Kupfer bestehen mag, das Zinkkupferelement, Fig 112, jedoch nicht in der Weise, wie auf Seite 118 gesagt wurde, sondern man nehme das Kupfer in die Hand und berühre mit dem Zink die Condensatorplatte, während natürlich die obere Condensatorplatte ableitend berührt wird; man wird keine Ladung des Condensators erhalten. Der Grund ist leicht einzusehen. Die untere Condensatorplatte ist die oberste Platte eines aus drei Stücken bestehenden metallischen Systemes; zu unterst ist das Kupfer, welches man in der Hand hält, dann folgt Zink, darauf wieder Kupfer. Der Effect ist derselbe als ob sich die beiden Endglieder, also Kupfer und Kupfer, unmittelbar berührten, er ist also gleich Null. Nun schiebe man zwischen das Zink und die untere Condensatorplatte ein mit reinem Wasser befeuchtetes Stückchen Papier ein, so wird der Condensator mit positiver Elektricität geladen werden. Wir haben hier ein System von 4 Körpern, Kupfer, Zink, feuchtes Papier, Kupfer. Da die beiden Endglieder gleichartig sind, so wäre eine Ladung des Condensators durchaus unmöglich, wenn alle Zwischenglieder

Fig. 112.



solche Körper wären, welche eine Stellung in der Spannungsreihe einnehmen; die beobachtete Ladung des Condensators beweis't also schon, daß das feuchte Papier nicht in die Spannungsröhre paßt. Der Hergang ist hier folgender. Das untere Kupferstück ist mit dem Boden in leitender Verbindung, es befindet sich deshalb im natürlichen Zustande, während das darangelöthete Zink eine positive Ladung erhält. Die positive Ladung des Zinks geht auf die feuchte Scheibe über, wird aber noch durch die positive Erregung des Wassers durch Zink vermehrt. Die verstärkte positive Ladung der feuchten Scheibe geht aber fast vollständig auch auf die untere Condensatorplatte über, weil ja das Kupfer durch Wasser nur sehr schwach negativ erregt wird.

Fig. 113.



Die elektrische Erregung zwischen Metallen und Flüssigkeiten ist bisher häufig übersehen worden. Eine sehr gründliche Untersuchung dieses für die Theorie der Volta'schen Säule so wichtigen Punktes hat Buff vor Kurzem publicirt (Liebig's Ann. der Chemie, Bd. 42, Seite 5).

Das Verfahren, welches er anwandte, um das elektrische Verhalten irgend eines Metalls gegen die zu untersuchende Flüssigkeit frei von allen anderen Einflüssen zu erhalten, war folgendes.

Auf einem sehr empfindlichen Fechner'schen Säulenelektroskop, Fig. 110, wurde eine Scheibe von dem zu prüfenden Metalle als untere Condensatorplatte befestigt. Auf die gefirnißte Oberfläche derselben wurde dann eine möglichst dünne, geschliffene Spiegelglasplatte gelegt, deren aufliegende (untere) Fläche gleichfalls gefirnißt war. Auf der Oberfläche des Glases endlich wurde die zu prüfende Flüssigkeit ausgebreitet; gewöhnlich, und zwar ganz unbeschadet der Wirkung, dadurch, daß man ein mit der Flüssigkeit getränktes Löschpapier oben auflegte. Die feuchte Schicht auf der Glasscheibe bildete auf diese Weise die obere Condensatorplatte. Buff verband nun die Flüssigkeit mit der untern Condensatorplatte durch einen geeigneten Metallstreifen und entfernte dann die Glasscheibe.

Die Glasscheibe war $\frac{1}{4}$ Linie dick und hatte einen etwas größern Durchmesser als die Condensatorplatte, um sie leicht abheben zu können. Die auf diese Weise erhaltenen Ladungen sind zwar in der Regel schwach, da wegen der Dicke der Glasscheibe der Condensator weniger wirksam ist, sie gaben jedoch in qualitativer Hinsicht vollkommen entscheidende Resultate.

Ist die Condensatorplatte von Zink, die Flüssigkeit reines Wasser, der Verbindungsdraht ebenfalls Zink, so wird der Condensator negativ geladen.

Wenn die untere Condensatorplatte und der Verbindungsdraht Platin sind und auf der Glasplatte ebenfalls reines Wasser ausgebreitet ist, so erhält das Platin ebenfalls eine negative Ladung, aber schwächer als die des Zinks durch Wasser.

Um die Wirkung von Wasser auf Platin mit der von Zink auf Platin zu vergleichen, wurde auf die Glasplatte statt des Wassers eine Zinkplatte aufgesetzt und die Verbindung des Zinks mit dem Platin durch einen Platinstreifen bewerkstelligt. Der Ausschlag war weit stärker. Platin wird also durch Zink weit stärker negativ erregt als durch Wasser.

Vergleicht man aber den Ausschlag, den unter diesen Umständen Zink und Platin giebt, mit dem, welchen Zink und Wasser geben, so findet man, daß der letztere bedeutender ist. Hieraus folgt, daß die absolute Größe der negativen Erregung des Zinks durch Wasser bedeutender ist als die Größe seiner positiven Erregung durch Platin.

Zink, mit reinem Wasser durch einen Platin- oder Kupferdraht in leitende Verbindung gesetzt, wurde positiv geladen, die positive Erregung des Zinks durch diese Metalle ist also größer als die negative Erregung derselben durch Wasser.

Verdünnte Schwefelsäure erregt Zink, Eisen, Kupfer in abnehmenden Graden negativ, Gold und Platin aber positiv. Aehnlich verhält sich verdünnte Salpetersäure.

Von concentrirter Salpetersäure wurden Platin, Gold, Kupfer, Eisen positiv erregt, nur das Zink, obgleich heftig angegriffen, zeigte eine kaum merklich negative Ladung.

Zweites Kapitel.

Von der Volta'schen Säule.

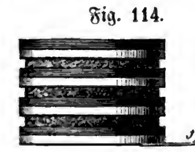
58 **Construction der Volta'schen Säule.** Zum Aufbau der Volta'schen Säulen werden drei verschiedene Körper angewendet; zwei Metalle und ein dritter Körper, welcher keine Stelle in der Spannungsreihe einnimmt.

Die Metalle, welche man in der Regel anwendet, sind Kupfer und Zink, zwei Körper, welche in der Spannungsreihe sehr weit von einander abstehen. Zink bildet das positive, Kupfer das negative Element. Gewöhnlich ist eine Kupferplatte und eine Zinkplatte zusammengelöthet.

Das dritte Element der Volta'schen Säule ist eine feuchte Scheibe, d. h. eine Scheibe von Tuch oder Pappe, welche mit reinem Wasser oder mit einer sehr verdünnten Säure oder einer Kochsalzlösung getränkt ist.

Eine Kupferplatte, also ein negatives Element, sey durch einen Kupferdraht *f*, Fig. 114, mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht und auf ihre obere Fläche eine gleich große Zinkplatte gelegt. Durch die elektromotorische Kraft wird das Zink positiv, das Kupfer negativ erregt, die freie Elektricität der Kupferplatte strömt aber in den Boden über, während auf der Zinkplatte freie Elektricität von einer Dichtigkeit bleibt, welche von der elektrischen Differenz zwischen Kupfer und Zink abhängt. Nehmen wir diese Dichtigkeit als Einheit an, so können wir sagen, daß unter diesen Umständen die Dichtigkeit der freien Elektricität auf dem Kupfer 0 sey, während sich über das Zink freie $+E$ von der Dichtigkeit 1 verbreitet. Wenn man durch irgend ein Mittel dem Zink einen Theil seiner freien E entzöge, so daß ihre Dichtigkeit geringer als 1 würde, so würde dieser Verlust, welchen die Zinkplatte an $+E$ erleidet, durch die elektromotorische Kraft sogleich wieder ersetzt werden, während eine der neu entwickelten und auf die Zinkplatte übergehenden $+E$ vollkommen gleiche Menge $-E$ auf die Kupferplatte und von dieser auf den Boden übergeht.

Fig. 114.



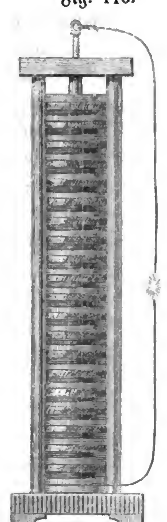
Man lege nun eine feuchte Scheibe auf das Zink. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, sie äußere, in Berührung mit Zink, gar keine elektromotorische Kraft und verhalte sich nur als Leiter, so geht ein Theil der freien $+E$ vom Zink auf die feuchte Scheibe über, der Verlust wird aber alsbald wieder ersetzt, so daß die Dichtigkeit der freien $+E$ auf dem Zink 1 bleibt, und auch auf der feuchten Scheibe sich freie $+E$ von der Dichtigkeit 1 verbreitet. Wird nun auf die feuchte Scheibe wieder eine Kupferplatte gelegt, so wird sich auch auf dieser die $+E$ verbreiten, und zwar wird sie auch hier sogleich die Dichtigkeit 1 erreichen. Auf der untersten Kupferplatte hat man also nun die Dichtigkeit Null auf der Zinkplatte, der feuchten Scheibe und der obern Kupferplatte $+E$ von der Dichtigkeit 1.

Legt man auch auf die obere Kupferplatte eine Zinkplatte, so würde auch diese mit freier $+E$ von der Dichtigkeit 1 geladen werden, selbst wenn keine elektromotorische Kraft hier thätig wäre; nun aber bleibt die elektrische Differenz zwischen Kupfer und Zink stets dieselbe, sie ist nach unserer bisherigen Bezeichnung stets gleich 1, wenn also schon die obere Kupferplatte $+E$ von der Dichtigkeit 1 hat, so muß die $+E$ der darauf gelegten Zinkplatte die Dichtigkeit 2 haben.

Auf dieselbe Art kann man weiter schließen. Legt man auf das zweite Zinkkupferpaar abermals eine feuchte Scheibe und darauf wieder eine Kupfer- und eine Zinkplatte in derselben Ordnung, so daß das Kupfer unten,

das Zink oben hin kommt, so wird auf dieser dritten Zinkplatte die Dichtigkeit der freien $+E=3$ seyn. Baut man in derselben Ordnung fort, d. h. läßt man von unten nach oben fortbauend die Elemente stets in der Ordnung: Kupfer, Zink, feuchte Scheibe folgen, so wird auf der 4ten, 5ten... 100sten Zinkscheibe sich freie $+E$ von der Dichtigkeit 4, 5... 100 finden.

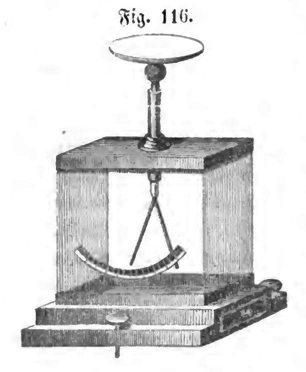
Fig. 115.



Das eben beschriebene Arrangement führt nach seinem Erfinder den Namen der Volta'schen Säule. Fig. 115 stellt eine Volta'sche Säule von 20 Plattenpaaren dar. Das Fußgestell ist von trockenem Holze, die Stäbe auf der Seite, welche die Säule halten, sind von Glas.

Das eine Ende der Säule, welches mit einer Zinkplatte endigt, heißt das Zinkende oder der positive Pol, das andere Ende hingegen das Kupferende oder der negative Pol. In dem eben beschriebenen Arrangement war der negative Pol mit dem Boden in leitender Verbindung, der positive Pol war isolirt, und auf der ganzen Säule war $+E$ verbreitet, deren Dichtigkeit nach unserer Betrachtung von unten nach oben zunehmen muß. Wenn der negative Pol isolirt, und der positive Pol mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird, so ist die Dichtigkeit der freien Elektricität an dem Zinkende Null, während sich über die ganze Säule freie $-E$ verbreitet, deren Dichtigkeit nach dem Kupferende hin zunimmt.

Fig. 116.



Daß in einer Säule, deren einer Pol isolirt ist, während das andere Ende ableitend berührt wird, wirklich die erwähnte Vertheilung der Elektricität stattfindet, davon kann man sich leicht mit Hülfe des Elektrometers, Fig. 116, überzeugen. Wir haben gesehen (S. 118), daß, wenn man die untere Condensatorplatte des Elektrometers mit dem Kupfer eines zusammengelötheten Zinkkupferpaares berührt, während das Zink mit dem Boden in leitender Verbindung ist, dem Condensator eine Ladung ertheilt werden kann, welche der elektrischen Differenz zwischen

Zink und Kupfer proportional ist, also von der Dichtigkeit 1 der freien Elektricität abhängt, welche sich über das Kupfer verbreitet, wenn es mit Zink in Berührung ist, welches selbst wieder mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Legt man aber auf die Hand eine Zinkscheibe, auf welche eine gleich große Kupferscheibe aufgelöthet ist, auf die Kupferplatte eine feuchte Scheibe und auf diese wieder ein Zinkkupferpaar und zwar Zink unten, Kupfer oben hin, so muß nach unseren Betrachtungen auf der obern Kupferplatte freie $-E$ von der Dichtigkeit 2 sich befinden, vorausgesetzt, daß die Flüssigkeit weder auf Kupfer noch auf Zink eine elektromotorische Kraft ausübt. Berührt man also die untere Condensatorplatte des Elektrometers mit der obern Kupferplatte, die obere Condensatorplatte aber ableitend mit dem Finger, so erhält nun der Condensator eine doppelt so starke Ladung als vorher, da man nur ein Plattenpaar angewendet hatte, und in der That erhält man jetzt einen weit stärkern Ausschlag. Ja, der Ausschlag ist mehr als doppelt so groß, weil sich, wie wir in Nro. 57 gesehen haben, die elektromotorische Wirkung der feuchten Scheibe mit der der Metalle summirt und also zur Verstärkung der Ladung an den Polen der Volta'schen Säule bedeutend mitwirkt. Macht man den Versuch mit einer Säule von drei Zinkkupferpaaren, so wird der Ausschlag abermals bedeutender. Wenn das Goldblattelektrometer empfindlich und der Condensator in gutem Stande ist, so ist der Ausschlag der Blättchen bei Anwendung von zwei und drei Plattenpaaren schon so bedeutend, daß man bei vier Plattenpaaren ein Zerreißen der Goldblättchen zu befürchten hat. Will man aber zeigen, wie auch weiter noch mit wachsender Plattenzahl die elektrische Spannung an dem einen Pol zunimmt, so hat man nur ein weniger empfindliches Elektroskop, etwa das Fig. 58 anzuwenden. Man wiederhole den Versuch ganz auf die so eben beschriebene Weise mit Anwendung von 5, 10, 15, 20 u. s. w. Plattenpaaren, so wird man beobachten, wie der Ausschlag mit wachsender Plattenzahl immer mehr zunimmt.

In der eben beschriebenen Versuchsweise war der positive Pol mit dem Boden in leitender Verbindung, und die negative Elektricität des Kupferpols wurde auf der untern Condensatorplatte verdichtet, das Elektrometer wurde also mit $-E$ geladen. Es ist nun leicht, die Anordnung so umzukehren, daß die $+E$ condensirt wird. Zu diesem Zwecke baue man nur die Säule in umgekehrter Ordnung auf; man lege das unterste Plattenpaar so auf die Hand, daß das Zink nach oben gekehrt ist, und baue in dieser Ordnung weiter. Damit der Contact der obersten Zinkplatte mit der Condensatorplatte den Effect nicht modificire, muß in diesem Fall die untere Condensatorplatte entweder selbst von Zink seyn, oder, wenn sie von Messing ist, muß man auf die oberste Zinkplatte noch

eine feuchte Scheibe legen und mit dieser die untere Condensatorplatte berühren.

59 **Die isolirte Säule.** Nehmen wir an, man habe eine Säule von 100 Paaren aufgebaut und den negativen Pol mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt, daneben eine zweite, der ersten ganz gleiche, deren positiver Pol ableitend berührt ist. Nun setze man die beiden Säulen zu einer einzigen zusammen, so aber, daß mit Einschaltung einer feuchten Scheibe die beiden ableitend berührten Pole (also der + Pol der einen und der — Pol der andern) an einander stoßen, so hat man eine einzige Säule von 200 Paaren, deren Hälften sich noch ganz in dem Zustand befinden wie vorher: die Mitte befindet sich also im natürlichen Zustand, selbst wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden aufgehoben hat. Die eine Hälfte ist positiv, die andere negativ geladen, und zwar wächst die Stärke der Ladung von der Mitte nach den Polen hin. Die elektrische Spannung an jedem Pol ist gerade so groß wie am isolirten Pol einer Säule von 100 Paaren, deren anderer Pol ableitend berührt ist. Stört man dieses Gleichgewicht, indem man von dem einen Pol etwas Elektricität wegnimmt, so wird hier die Spannung vermindert, am andern Pol vermehrt, und der Punkt der Säule, welcher sich im natürlichen Zustande befindet, wird von der Mitte mehr nach dem Pol hingerückt, welchem man Elektricität entzogen hatte. Wenn aber die ganze Säule isolirt bleibt, so stellt sich nach und nach der frühere Zustand wieder her, d. h der Gleichgewichtspunkt rückt allmälig wieder in die Mitte, weil an dem stärker geladenen Pol fortwährend auch ein größerer elektrischer Verlust stattfindet. In jeder ganz isolirten Säule stellt sich also von selbst das elektrische Gleichgewicht in der Weise her, daß die Mitte im natürlichen Zustand ist und die beiden Hälften mit den entgegengesetzten Elektricitäten geladen sind, deren Dichtigkeit nach den Polen hin von einem Plattenpaar zum andern wächst.

60 **Die trockene Säule.** Bei den trocknen Säulen sind die Elektromotoren ebenfalls metallische Substanzen, aber der Leiter, welcher je zwei Paare trennt, ist keine Flüssigkeit, sondern irgend ein fester Körper, welcher entweder vollkommen trocken oder nur etwas feucht ist. Unter den verschiedenen Vorrichtungen dieser Art, welche nach einander vorgeschlagen wurden, scheint die von Zamboni die wirksamste zu seyn. Auf ein gewöhnliches Blatt Papier, welches gerade so feucht ist als es bei feuchter Witterung von selbst wird, klebt man mit Gummi oder Stärke auf die eine Seite unächten Silberschaum (Zink), während auf der andern Seite feingepulverter Braunstein (Manganhyperoxyd) mittelst eines Korkstopfens eingerieben wird; mehrere so zubereitete Papierblätter werden nun auf einander gelegt und mit einem runden Schlageisen von 10 bis 15 Linien Durchmesser runde Scheibchen ausgeschlagen. Durch Aufeinanderschichten solcher Scheibchen werden nun

Säulen von 1000 bis 2000 Paaren aufgebaut, dabei muß man aber wohl darauf Rücksicht nehmen, daß die Scheibchen alle in derselben Ordnung aufgebaut werden, daß also die Zinkseite entweder immer nach unten oder immer nach oben gekehrt ist. Um die vollständige Berührung der Plattenpaare zu sichern, wird die Säule zusammengepreßt, nachdem man an beiden Enden hinreichend starke Metallplatten mit 3 bis 4 vorspringenden Ansätzen anbringt, die nun durch seidene Schnüre verbunden werden. Um die ganze Säule vor dem Einfluß der Luft zu schützen, wird sie mit geschmolzenem Schwefel oder mit Schellack überzogen.

Man kann auch die trocknen Säulen aus unächtem Gold- und Silberpapier construiren. Zu diesem Zweck klebt man immer einen Bogen unächtes Silberpapier (Zinn) und einen Bogen unächtes Goldpapier (Kupfer) mit der Papierseite zusammen, so daß man also ein Papierblatt hat, welches auf der einen Seite mit Kupfer, auf der andern mit Zinn überzogen ist. Aus den so zusammengeklebten Bogen werden dann die Scheibchen ausgeschnitten.

Eigenschaften der trocknen Säule. Eine Zambonische Säule von 2000 Paaren ist noch nicht im Stande, den mindesten Schlag zu geben oder die mindeste chemische Zersetzung hervorzubringen, allein ihre Pole zeigen eine sehr merkliche Spannung. Schon eine Säule von 100 bis 200 Paaren bringt an einem Goldblattelektrometer ohne Condensator eine Divergenz hervor; man braucht zu diesem Zweck nur den einen Pol in der Hand zu halten und mit dem andern die Platte oder die Kugel des Elektrometers zu berühren. Mit Säulen von 800 bis 1000 Paaren erhält man schon eine sehr bedeutende Divergenz. Berührt man mit dem einen Pol solcher Säule die eine Belegung einer Franklin'schen Tafel, während der andere Pol ableitend berührt ist, so gelingt es manchmal, der Tafel eine so starke Ladung zu ertheilen, daß bei ihrer Entladung ein Funken erscheint. 61

Eine Volta'sche Säule von 2000 Paaren würde, wie wir bald sehen werden, mit einem gesäuerten Wasser geschichtet, nicht allein diese Spannungserscheinungen, sondern auch bedeutende Stromeffecte, einen bedeutenden Schlag und eine sehr lebhafte chemische Zersetzung hervorgebracht haben. Daß diese Erscheinungen bei der Zamboni'schen Säule fehlen, hat besonders in der unvollkommenen Leitungsfähigkeit des Papiers seinen Grund. Die elektrischen Flüssigkeiten können nur langsam die Säule bis zu den Polen durchwandern, und in Folge dieser Langsamkeit tritt ein Gleichgewichtszustand ein, den wir sogleich näher untersuchen wollen.

Wenn beide Pole der Säule isolirt sind, so häufen sich die entgegengesetzten Elektricitäten bald in gleichem Maaße an den Polen an; die Spannung wächst hier, bis die Elektricitätsmenge, welche jeder Pol durch die Luft in einem gegebenen Zeittheilchen verliert, gleich derjenigen Menge ist, welche

in derselben Zeit dem Pole durch die Säule wieder zugeführt wird. Von diesem Augenblicke an bleibt die Spannung an den Polen constant. Wird nun die Luft feuchter, so beträgt der elektrische Verlust an den Polen einen größern Bruchtheil der gesammten daselbst angehäuften Elektricität, während doch die Menge der dem Pol zugeführten Elektricität dieselbe bleibt; daraus ergiebt sich dann, daß in feuchter Luft die Spannung an den Polen geringer seyn muß als in trockner Luft.

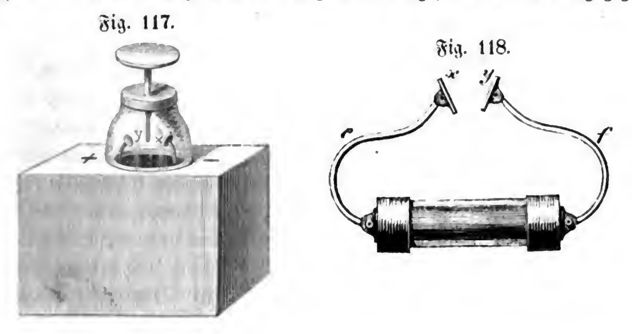
Die Zamboni'schen Säulen wendet man an, um das sogenannte elektrische perpetuum mobile zu construiren. Zwei Säulen, jede etwa von 2000 Paaren, werden so neben einander gestellt, daß bei der einen der positive, bei der andern der negative Pol unten ist; diese beiden unteren Pole werden nun durch einen Metallstreifen in gut leitende Verbindung gebracht, während das Ganze isolirt bleibt, und dadurch erhält man ein System, welches in der That einer einzigen Säule von 4000 Paaren gleich ist, nur sind die beiden Pole dieser Säule nach oben gekehrt. Denken wir uns nun in die Mitte zwischen diese beiden oberen Pole ein ganz leichtes metallisches Pendel leicht beweglich und isolirt aufgehängt, so wird es von beiden Polen gleich stark angezogen, sie bleibt also in Ruhe. Wird aber dieses Gleichgewicht gestört, so beginnt alsbald eine fortdauernde Bewegung. Kommt z. B. das Pendel mit dem positiven Pole in Berührung, so wird es mit $+E$ geladen, vom $+$ Pole abgestoßen und vom $-$ Pole angezogen; am letztern Pole angekommen, giebt es an diesen seine positive Ladung ab, nimmt dagegen $-E$ auf und wird nun wieder nach dem $+$ Pol getrieben u. s. w. Man sollte glauben, daß, wenn Alles gut hergerichtet ist, die Bewegung in der That immer fortdauern müßte; es ist dies jedoch nicht der Fall. Bald werden die Oscillationen schneller, dann wieder langsamer, endlich hören sie eine Zeitlang ganz auf. Diese Unregelmäßigkeiten lassen sich aber ganz gut erklären. Es wirken hier zwei Ursachen, um den Polen der Säule Elektricität zu entziehen, nämlich die Luft und das Pendel, während die Elektricität nur aus einer constanten Quelle wieder ersetzt wird. Wenn für einen bestimmten Zustand der Luft das Pendel so eingerichtet ist, daß in einer gegebenen Zeit die Menge der Elektricität, welche an den Polen durch die Luft und das Pendel weggenommen wird, in derselben Zeit auch wieder ersetzt werden kann, so sind die Schwingungen regelmäßig und dauern so fort, bis sich die Umstände ändern. Wird nun die Luft trocken, so werden die Oscillationen schneller; wird die Luft feuchter, so nimmt die Geschwindigkeit der Oscillationen ab, und wenn es sehr feucht wird, kommt das Pendel wohl auch ganz in Ruhe, nach einiger Zeit aber können die Schwingungen von Neuem beginnen. Um das Pendel in jedem beliebigen Augenblicke stille stehen zu machen, braucht man nur über die Pole hinzublasen oder sie mit der Hand oder mit

einem andern guten Leiter zu berühren, denn dadurch wird die elektrische Ladung der Pole weggenommen, und es ist eine geraume Zeit nöthig, bis die elektrischen Fluida sich wieder hinreichend an den Polen angehäuft haben, um wieder die Bewegung des Pendels zu unterhalten.

Bohnenberger's Elektroskop. Zu den wichtigsten und sinnreichsten Anwendungen, die man von der trocknen Säule gemacht hat, gehört unstreitig das Bohnenberger'sche Elektroskop. Nachdem Bohnenberger an dem Goldblattelektrometer das eine Goldblättchen weggenommen hatte, brachte er auf jeder Seite des noch übrig gebliebenen, und zwar in gleicher Entfernung von demselben, eine starke trockne Säule an. Das Goldblättchen hängt also in der Mitte zwischen den Enden der beiden Säulen, und zwar befindet sich auf der einen Seite ein positiver, auf der andern ein negativer Pol, und so muß sich das Blättchen nach dem einen oder dem andern Pole hin bewegen, wenn ihm nur die geringste positive oder negative Ladung mitgetheilt wird. 62

Statt zweier vertikalen Säulen wandte Becquerel zuerst eine horizontale mit vertikalen Polplatten an, zwischen denen ihrer ganzen Länge nach das Goldblättchen herabreicht. Fechner hat diesen Apparat noch sehr verbessert und ihm die Fig. 117 und Fig. 118 dargestellte Einrichtung gege-

Fig. 117. Fig. 118.



ben, durch welche er das empfindlichste aller bis jetzt bekannten Elektroskope und ein für die leichte und sichere Anstellung der Volta'schen Fundamentalversuche wahrhaft unentbehrliches Instrument wurde.

In dem Kasten, Fig. 117, befindet sich in horizontaler Lage eine Zamboni'sche Säule von 800 bis 1000 ungefähr thalergroßen Plattenpaaren. Die Säule ist mit gefirnißten Seidenfäden zusammengeschnürt und wird in einer Glasröhre luftdicht eingeschlossen, die an ihren Enden mit metallenen Kappen verschlossen ist. Diese Kappen stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindung, und von ihnen gehen die Metalldrähte *e* und *f*

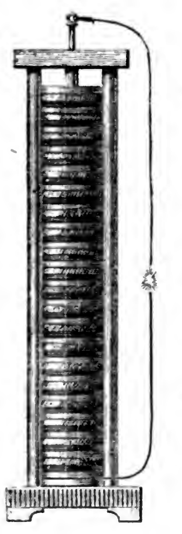
aus, die mit den Polplatten x und y endigen. Zwischen diesen Polplatten hängt, wie man in Fig. 117 sieht, das Goldblättchen an einem isolirten Metallstäbchen. Auf der einen Seite ist auf der obern Fläche des Kastens, aus dem die Polplatten hervorragen, das Zeichen +, auf der andern das Zeichen — angebracht, so daß man sogleich durch die Richtung des Ausschlags von der Natur der dem Goldblättchen mitgetheilten Elektricität unterrichtet ist.

63 **Sekundäre Säulen.** Wenn man eine Säule von Kupferscheiben und angefeuchtetem Papier aufbaut, so erhält man einen Apparat, der freilich kein Elektromotor ist, der aber nichtsdestoweniger viele Aehnlichkeit mit unseren Säulen hat und deshalb auch den Namen der sekundären Säule führt. In der That ist es nur nöthig, die beiden Enden der sekundären Säule mit den beiden Polen einer Volta'schen Säule von starker Spannung in Berührung zu bringen, so wird nach einiger Zeit diese sekundäre Säule selbst im Stande seyn, die Phänomene der Säule hervorzubringen. Trennt man sie von der Säule, welche zu ihrer Ladung diente, so zeigt sie an dem einen Pole positive, am andern negative Elektricität; sie kann sogar einige chemische Wirkungen hervorbringen. Wenn man die sekundäre Säule entladen hat, so ist sie im Stande, sich mehrere Male selbst wieder zu laden, wie dies eine trockne Säule thut. Diese Erscheinungen, welche von Ritter entdeckt wurden, erklären sich durch die unvollständige Leitungsfähigkeit des Systems. Ein einfacher Streifen feuchten Papiers, zwischen die Pole der Säule eingeschaltet, bringt dieselben Wirkungen, aber freilich in weit geringerem Maaße, hervor. Die eine Längenhälfte desselben, welche den positiven Pol der Säule berührt, ladet sich mit positiver, die andere Hälfte mit negativer Elektricität. Diese Ladung erhält sich lange Zeit, und wenn man die beiden Enden wieder in ihren natürlichen Zustand versetzt hat, so strömen die elektrischen Flüssigkeiten wieder von der Mitte her gegen die Pole hin und bringen so eine neue Ladung hervor, bis endlich, nach mehrmaligem Berühren, alle Elektricität der Ladungssäule weggenommen ist oder allmälig alle Elektricität durch die Luft sich zerstreut hat.

64 **Die geschlossene Säule.** Da die beiden Pole einer isolirten Säule immer Quellen entgegengesetzter Elektricität sind, so ist klar, daß, wenn man jeden mit einem Drahte versieht, der Draht sich mit der Elektricität seines Pols laden wird. Man hat also auf diese Weise einen positiv und einen negativ geladenen Conductor; wenn beide Conductoren mit einander in Berührung gebracht werden, muß also eine beständige Wiedervereinigung der in der Säule fortwährend entwickelten Elektricitäten stattfinden. Dies soll nun durch Fig. 119 versinnlicht werden. Wenn die beiden Drähte (die man selbst manchmal die beiden Pole nennt) einander

bis auf eine sehr kleine Entfernung genähert werden, so sieht man einen ununterbrochenen Funkenstrom von einem Drahte zum andern übergehen.

Fig. 119.



Wenn man die beiden Leitungsdrähte in unmittelbare Berührung bringt, d. h. wenn man die Kette schließt, so hört der Uebergang der Funken auf, damit sind aber nicht alle elektrischen Wirkungen zerstört. In der Säule wird fortwährend Elektricität entwickelt, und in allen Punkten des Schließungsdrahtes findet fortwährend die Wiedervereinigung der in der Säule getrennten Elektricitäten Statt. Außen scheint also Alles ruhig, im Innern aber herrscht fortwährende Thätigkeit und Bewegung. Wir werden alsbald die Wirkungen dieses ununterbrochenen elektrischen Stromes kennen lernen.

65 **Verschiedene Formen der galvanischen Kette.** Mit dem Namen der galvanischen Ketten bezeichnet man alle Apparate, welche zur Hervorbringung eines continuirlichen elektrischen Stromes dienen. In der Regel sind sie aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit construirt. Die bisher besprochene Volta'sche Säule war der erste Apparat der Art; allein diese Form bietet mannigfache Mißstände. Die unteren Scheiben nämlich sind durch das Gewicht der oberen stärker zusammengedrückt; die feuchten Scheiben werden dadurch ausgepreßt, sie werden trocken, während die Flüssigkeit an der Seite der Säule herunterrinnt; dadurch wird aber eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren hervorgebracht, welche den Totaleffekt schwächt.

Der Trogapparat, welcher längere Zeit im Gebrauche war, ist Fig. 120 und Fig. 121 dargestellt. Die einzelnen Elemente bestehen aus rechtwinkligen Platten von Kupfer und Zink, welche auf einander gelöthet sind. Diese Plattenpaare sind nun einander parallel in einem Kasten von Holz, b b', dessen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzschicht überzogen sind, so befestigt, daß der Zwischenraum zwischen je zwei Plattenpaaren eine Zelle, einen Trog bildet, der mit gesäuertem

Fig. 120.

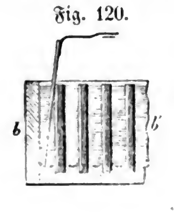
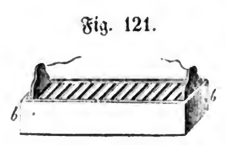


Fig. 121.

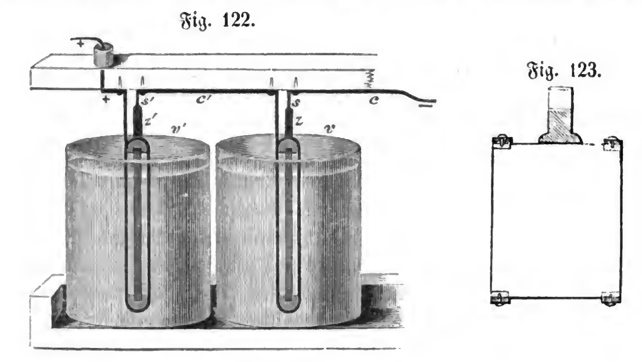


Wasser gefüllt wird. Diese Wasserschicht, welche ungefähr 3 Linien dick ist, vertritt hier die Stelle der feuchten Scheibe.

Bei anderen galvanischen Apparaten befindet sich die Flüssigkeit in getrennten Gefäßen oder Gläsern, die kreisförmig oder in gerader Linie zusammengestellt sind. Jedes Glas enthält eine Zink- und eine Kupferplatte, die sich aber nicht berühren, jede Zinkplatte ist durch einen Kupferdraht oder Kupferstreifen mit der Kupferplatte des vorhergehenden Glases verbunden. In diese Klasse gehört vorzüglich die Wollaston'sche Batterie. Um die Construction besser verstehen zu können, wollen wir vorerst zwei Plattenpaare betrachten, welche, Fig. 122 von der Seite und Fig. 123

Fig. 122.

Fig. 123.



von vorn gesehen dargestellt sind. Der Kupferstreifen *c s* ist an der Zinkplatte *s z* bis *s* angelöthet; *c' s'* ist ein zweiter Kupferstreifen, welcher bei *s'* an eine zweite Zinkplatte angelöthet ist. Der Kupferstreifen *c' s'* hängt aber mit einer Kupferplatte zusammen, welche ganz um die erste Zinkplatte herumgebogen ist, ohne dieselbe zu berühren.

Um die zweite Zinkplatte geht ebenso eine Kupferplatte herum, die mit dem negativen Poldrahte verbunden ist. Jedes Plattenpaar ist in ein mit gesäuertem Wasser gefülltes Gefäß eingetaucht. Die erste Zinkplatte wird, in Berührung mit dem Kupferstreifen *c s*, + elektrisch; diese positive Ladung geht durch die Flüssigkeit zu der Kupferplatte über, welche das Zink ohne Berührung umgiebt, von dieser Kupferplatte durch den Kupferstreifen zu der zweiten Zinkplatte u. s. w. Diese Anordnung bietet große Vortheile dar. 1) Den beiden Oberflächen jeder Zinkplatte steht eine Kupferfläche gegenüber; 2) ist die flüssige Schicht, durch welche die Elektricität hindurchgehen muß, um von einer Zinkplatte auf die nächste Kupferplatte überzugehen, äußerst dünn, und 3) wird wegen der bedeutenden Masse der Flüssigkeit in jedem Gefäße ihre Natur nicht so schnell verän-

dert als dies beim Trogapparate der Fall ist, bei welchem deshalb die Wirksamkeit außerordentlich abnimmt.

Fig. 124 zeigt die ganze Wollaston'sche Batterie von der Seite, Fig. 126 im Grundrisse, Fig. 125 von vorn. Sämmtliche Plattenpaare

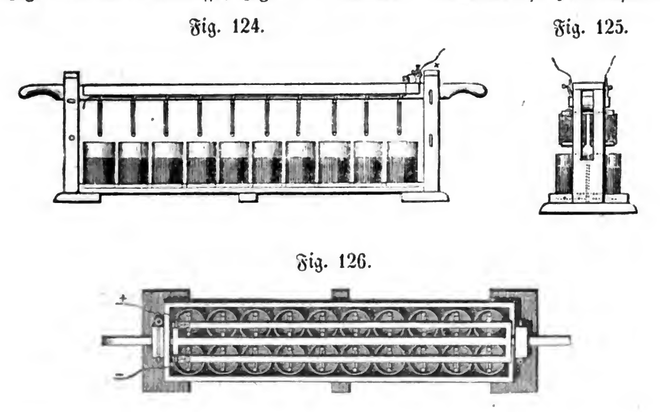


Fig. 124. Fig. 125.

Fig. 126.

sind an einer Holzleiste befestigt, so daß man sie gleichzeitig in die Flüssigkeit eintauchen und wieder herausnehmen kann. Zur Füllung der Gefäße wendet man gewöhnlich Wasser an, dem $^1/_{16}$ Schwefelsäure und $^1/_{20}$ Salpetersäure zugesetzt ist.

Je nachdem die Volta'schen Apparate zu verschiedenen Versuchen angewendet werden sollen, kommt es bald auf die Anzahl, bald auf die Größe der Plattenpaare an. Manche Erscheinungen kann man nur mit einer Säule von vielen Plattenpaaren hervorbringen, wenn sie auch nicht groß sind, andere hingegen erfordern nur ein einziges, aber sehr großes Plattenpaar mit sehr vollkommener metallischer Schließung. Wir werden später sehen, daß durch die Größe der Plattenpaare die Quantität der circulirenden Elektricität, durch ihre Anzahl aber die elektrische Spannung vermehrt wird, welche den Strom in Bewegung setzt.

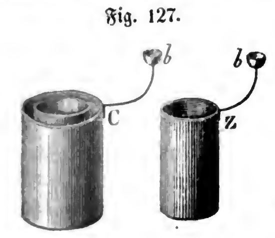


Fig. 127.

Zu solchen Versuchen, welche eine große Quantität circulirender E, aber eine geringe Spannung erfordern, wendet man die sogenannten einfachen Ketten an. Eine solche ist in Fig. 127 dargestellt. C ist ein Gefäß, welches durch zwei Cylinder von Kupferblech gebildet ist, die ungleichen Durchmesser haben, von denen der eine in

dem andern steckt und die am Boden mit einander verbunden sind, so daß ein Raum zwischen beiden bleibt, der den Zinkcylinder Z und das gesäuerte Wasser aufnimmt. An dem Zinkcylinder ist ein Kupferdraht angelöthet, der mit einem Näpfchen endigt, in welches Quecksilber gegossen wird. Ein ähnliches Quecksilbernäpfchen ist an dem Kupfergefäße angelöthet. Wenn man den Zinkcylinder in das Kupfergefäß hineinstellt, so muß man dafür sorgen, daß das Zink mit dem Kupfer nicht in leitende Berührung kommt. Man hindert diese Berührung am besten durch einige Stückchen Kork. Wenn man die Kette schließen will, so verbindet man die Quecksilbernäpfchen durch einen Metalldraht. Dieser Apparat hat den großen Vorzug, daß man das Zink sehr bequem reinigen kann.

Fig. 128.

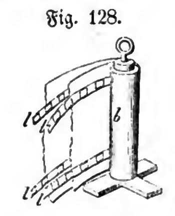
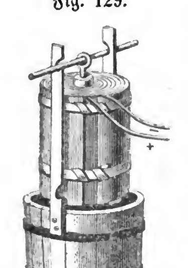


Fig. 129.



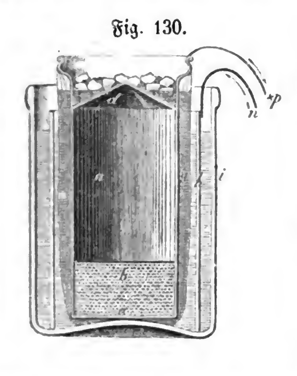
Wenn es auf eine sehr große Oberfläche der Metallplatten ankommt, wendet man Hare's Calorimotor an, welcher Fig. 128 und Fig. 129 dargestellt ist. Auf einem Holzcylinder b, welcher etwa 3 Zoll im Durchmesser hat und 1 bis 1,5 Fuß hoch ist, sind zwei Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer gleichsam aufgewickelt, welche durch Tuchstreifen l von einander getrennt sind. Man erhält auf diese Weise ein Plattenpaar von 50 bis 60 Quadratfuß Oberfläche. Der Name Calorimotor rührt daher, weil dieser Apparat ganz besonders geeignet ist, Metalldrähte glühend zu machen und zu schmelzen.

Bei allen den bis jetzt besprochenen einfachen und zusammengesetzten Ketten ist die Wirkung gleich nach dem Eintauchen in die saure Flüssigkeit sehr energisch, sie nimmt aber sehr rasch ab. Diese Veränderlichkeit des Stroms ist nun für immer, namentlich aber dann störend, wenn es sich darum handelt, vergleichende Versuche über die Stromkraft anzustellen. Von diesem Uebelstande sind nun die sogenannten constanten Batterien frei, die erst in neuerer Zeit in Aufnahme gekommen sind. Hier wird vor der Hand nur eine Beschreibung der wichtigsten constanten Ketten folgen, die Theorie derselben aber, sowie die Auseinandersetzung der Gründe, warum in gewöhnlichen Ketten die Stromkraft so rasch abnimmt, muß einem spätern Kapitel vorbehalten bleiben.

Als Erfinder der constanten Ketten muß Becquerel genannt werden. Die Fig. 130 stellt ein Element einer constanten Becquerel'schen

Kette dar; es besteht aus einem hohlen Cylinder a von ganz dünnem Kupferblech, welcher durch etwas Sand b beschwert und von allen Seiten verschlossen ist. Der untere Boden c ist eben, der obere d ist konisch, über demselben erhebt sich ein Rand e, in dem mehrere Löcher angebracht sind. Der ganze Cylinder ist nun mit einer Thierblase g umgeben, welche an dem Rande e, über den Löchern f, befestigt ist. Auf den Kegel d gießt man nun eine Auflösung von Kupfervitriol, welche durch die Löcher f ausläuft, um den Raum zwischen der Blase und dem Cylinder a auszufüllen; auf den Kegel d werden einige Stücke Kupfervitriol gelegt, welche nach und nach in der Flüssigkeit aufgelös't werden, von welcher sie immer umspült seyn müssen. Die Blase ist von einem hohlen Zinkcylinder h umgeben, welcher der Länge nach aufgeschlitzt ist, so daß man ihn nach Belieben etwas enger oder weiter machen kann. Dieser Zinkcylinder sowohl, wie die Blase, welche den Kupfercylinder und die Kupfervitriollösung enthält, sind in ein Gefäß i von Glas oder Porcellan getaucht, welches verdünnte Schwefelsäure oder eine Lösung von Zinkvitriol oder Kochsalz enthält. Zwei starke Kupferdrähte p und n, von denen der eine an den Zinkcylinder, der andere an das Kupfer angelöthet ist, bilden die beiden Pole des Elements. Stellt man zwischen diesen beiden Poldrähten eine metallische Verbindung her, so beginnt die Circulation des elektrischen Stromes.

Fig. 130.

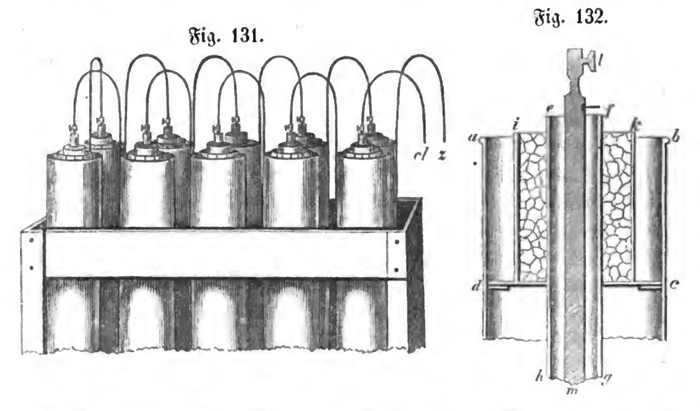


Daniel's constante Batterie ist nur eine Modification der Becquerel'schen. Ein massiver Zinkcylinder befindet sich mit verdünnter Schwefelsäure in einer Blase oder in einem hohlen unten verschlossenen Cylinder von porösem Thon (der Masse der irdenen Pfeifen). Dieser Thoncylinder wird nun sammt seinem Inhalte in ein cylindrisches Kupfergefäß gestellt, welches mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt ist.

Die Daniel'sche Batterie ist Fig. 131 und Fig. 132 (a. f. S.) dargestellt. Die letzte dieser beiden Figuren zeigt den obern Theil eines Elements, die erste die ganze Batterie. $e\ f\ g\ h$ ist der Thoncylinder, der mit Schwefelsäure gefüllt ist und in dessen Mitte sich ein massiver Zinkcylinder m befindet. Der Thoncylinder selbst steht in der Mitte eines mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllten Kupfercylinders. Am obern Ende des Kupfercylinders befindet sich ein Behälter $i\ k$, welcher an den

Seiten und am Boden durchlöchert ist. Dieser Behälter nun ist mit Stücken von Kupfervitriol angefüllt, welche beständig mit der Flüssigkeit

Fig. 131. Fig. 132.

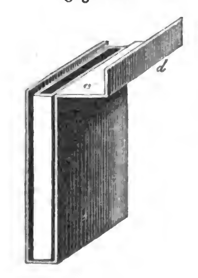


des Kupfercylinders in Berührung sind; in dem Maaße nun, als sich während der Circulation des Stromes metallisches Kupfer an den Wänden des Kupfergefäßes abscheidet, wird oben eine entsprechende Menge des Salzes aufgelöſ't.

Jeder Zinkcylinder ist mit dem Kupfergefäße des folgenden Paares durch einen Draht verbunden, wie man Fig. 131 sieht.

Bei beiden Apparaten kommen zwei Flüssigkeiten vor, welche entweder durch die Thierblase oder durch die poröse Thonmasse getrennt sind. Diese Scheidewand hindert jedoch nicht, daß die beiden Flüssigkeiten in Berührung kommen, sie hindert nur ihre Mischung. Bei der Becquerel'schen Kette ist die Lösung des Kupfervitriols innerhalb, bei der Daniel'schen außerhalb der Scheidewand.

Fig. 133.



Die Grove'sche Batterie ist aus Zink und Platin construirt; die Fig. 133 stellt ein Element derselben dar. Die Zinkplatte ist in der Weise gebogen, daß sie gleichsam eine Zelle bildet, die aber oben und auf beiden Seiten offen ist; in dieser Zelle steht ein rechtwinkliger Trog von porösem Thon, der mit Salpetersäure gefüllt ist. An das hervorstehende Ende *c d* der Zinkplatte ist ein Platinblech mittelst einer messingenen Klemme angepreßt, welches in die Thonzelle des vorigen Paares hinabhängt. Ein solches Platinblech ist so groß, daß es fast die ganze

Breite und Höhe einer Thonzelle einnimmt. In die in unserer Figur dargestellte Thonzelle hängt das Platinblech des folgenden Paares herunter.

Jede Zinkplatte mit ihrer Thonzelle ist in ein rectanguläres Gefäß von Porzellan oder Glas eingetaucht, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist, und diese Gefäße sind dann auf einem Gestelle von Holz zusammengestellt.

So vortrefflich auch die Wirksamkeit der Grove'schen Batterie ist, so steht ihrer allgemeineren Verbreitung doch die Kostbarkeit des Platins hindernd in dem Wege. In dieser Hinsicht besonders verdient Bunsen's constante Zink-Kohlenbatterie allgemeine Empfehlung, da man mit dieser Einrichtung ganz ungemein kräftige Wirkungen mit einem verhältnißmäßig sehr geringen Kostenaufwande hervorbringen kann.

In der Bunsen'schen Batterie ist das Platin durch die noch mehr elektronegative Kohle ersetzt, und zwar wird die Kohle in Form von hohlen Cylindern angewendet. Ein solcher hohler, unten offener Cylinder von 120mm Höhe, 64mm Durchmesser und ungefähr 6mm Wanddicke ist, wie man in Fig. 134 sieht, in ein Glasgefäß gestellt, welches oben etwas enger ist, so daß hier kein merklicher Zwischenraum zwischen der Kohle und dem Glase bleibt, der Cylinder also ganz fest im Glase steht. In die Höhlung des Kohlencylinders wird nun ein hohler unten verschlossener Cylinder von porösem Thon gestellt, welcher bei einer Höhe von ungefähr 105mm einen solchen Durchmesser hat, daß er eben in die Höhlung des Kohlencylinders paßt und zwischen dem Thon und der Kohle nur noch ein ganz geringer Zwischenraum bleibt. Die Thonzelle wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, das Glas aber enthält so viel concentrirte Salpetersäure, daß, wenn der Thoncylinder eingesetzt ist, fast der ganze noch freie Raum des Glases bis zum engern Halse mit dieser Flüssigkeit angefüllt ist.

Fig. 134.

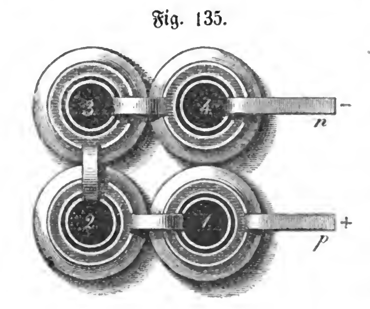


Das obere Ende des Kohlencylinders ragt aus dem Glase hervor und ist schwach conisch abgedreht, so daß ein ebenfalls etwas weniges conischer Ring *a* von Zink fest aufgesetzt werden kann. Der Ring trägt vermittelst des Zinkbügels *b* einen hohlen Zinkcylinder *c*, welcher ungefähr 87mm hoch ist und 40mm im Durchmesser hat. Dieser Cylinder *c* hängt in die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle des folgenden Glases.

Wie ein Zinkkohlenpaar mit dem nächsten verbunden ist, sieht man

deutlich aus Fig. 135, welche eine Combination von 4 Paaren im Grundrisse darstellt. Die Kohlencylinder sind durch horizontale Schraffirung unterschieden. Innerhalb eines jeden Kohlencylinders sieht man in der Figur zwei weiße Ringe; der äußere derselben stellt den von oben gesehenen Thoncylinder, der innere den Zinkcylinder dar. Der Zinkcylinder des ersten Glases ist durch einen Bügel mit dem Zinkringe verbunden, welcher den Kohlencylinder des zweiten Glases umfaßt. Ebenso verbindet ein Zinkbügel den Zinkcylinder des zweiten mit dem Zinkringe des dritten Glases, und ein dritter Bügel verbindet den dritten Zinkcylinder mit dem vierten Zinkringe. Der Ring, welcher auf dem ersten Kohlencylinder aufsitzt, endigt mit einem Zinkstreifen, welcher als positiver Pol dient; der Zinkstreifen *n*, mit welchem der Zinkcylinder im vierten Glase endigt, ist der negative Pol der Kette.

Fig. 135.



Auf dieselbe Weise werden Ketten von beliebig vielen Paaren zusammengesetzt.

In jedem einzelnen Paare geht der positive Strom von dem die Kohle umschließenden Zinkringe durch den Bügel zum Zinkcylinder des nächsten Glases, von diesem durch die verdünnte Schwefelsäure, durch die Poren der Thonzelle und die Salpetersäure zur nächsten Kohle u. s. w.

Ueber die Bereitung der Kohlencylinder ist noch Folgendes zu sagen: Man erhält die Kohlenmasse durch Glühen eines durchgesiebten Gemenges von völlig ausgeglühten Coaks mit ebenfalls fein pulverisirten, möglichst backenden Steinkohlen, die man in dem annähernden Verhältnisse von 1 zu 2 mit einander mischt. Zeigt sich die Masse nach dem Glühen zu zerreiblich und locker, was bei Anwendung weniger fetter Steinkohlen der Fall zu seyn pflegt, so muß das Verhältniß der letzteren gegen das der Coaks vermehrt werden. Ist dagegen die Steinkohle überwiegend, so zerklüftet sich die Kohle in einzelne nicht zusammenhängende Stücke. Hat man das richtige Verhältniß der Gemengtheile für eine Kohlenart einmal ermittelt, so ist ein Mißlingen der Darstellung später nicht mehr zu befürchten. Das Glühen geschieht bei mäßigem Kohlenfeuer in Formen von Eisenblech, welche 10 bis 12 Operationen aushalten.

Um die hohlen Cylinder zu erhalten, wird eine cylindrische Holzschachtel in die Blechform gestellt und der Zwischenraum zwischen der hölzernen und

eisernen Wandung mit dem Kohlengemenge ausgefüllt. Die bedeutende Volumenveränderung, welche die Kohle beim Glühen erleidet, erlaubt nicht, diese Schachtel durch eine Blechrolle zu ersetzen.

Die auf diese Art bereitete Kohle besitzt zwar schon eine hinreichende Festigkeit, allein sie gestattet in dieser Form wegen ihrer großen Porosität noch keine Anwendung. Um ihr die nöthige Dichtigkeit und eine den härteren Gesteinen an Festigkeit kaum nachstehende Beschaffenheit zu ertheilen, tränkt man sie vor dem zweiten Glühen in concentrirter Zuckerlösung, zu der man die schlechtesten Zuckerabfälle benutzen kann, und trocknet sie darauf, bis der Zucker in der Form wieder fest geworden ist. Leitungsfähigkeit und elektromotorische Kraft erlangt die Kohle erst dadurch, daß man sie in einem mit Kohlenstücken ausgefüllten, bedeckten feuerfesten Gefäße der mehrstündigen Einwirkung einer starken Weißglühhitze aussetzt, was am leichtesten in einem gewöhnlichen Töpferofen geschieht. Die nach diesen Angaben bereitete Kohle ist vollkommen homogen, wenig porös, nicht im mindesten abfärbend, klingend und so fest, daß ein 6 Loth schwerer, 3 Linien dicker hohler Cylinder, ohne zu zerbrechen, 4—6 Fuß tief auf Holz fallen kann.

Die rohe Bearbeitung dieser Cylinder geschieht vor ihrem Eintauchen in die Zuckerlösung vermittelst einer Reibe aus Blech. Um sie gehörig cylindrisch zu machen, werden sie nach dem zweiten Glühen auf der Drehbank innen und außen abgedreht.

Physiologische Wirkungen der Säule. Die Nervenzuckungen, welche die Elektricität der Volta'schen Säule hervorbringt, sind nicht weniger heftig, als die der gewöhnlichen elektrischen Batterieen; ihre Stärke hängt besonders von der Anzahl der Plattenpaare, also von der Größe der Spannung ab. Um den Entladungsschlag der Säule durch den menschlichen Körper zu leiten, muß man die Hände etwas anfeuchten, am besten mit Salzwasser, denn die Epidermis ist ein sehr schlechter Leiter. Berührt man mit trocknen Fingern die beiden Pole einer Säule von 20 bis 30 Paaren, so fühlt man nicht den mindesten Schlag, er wird aber sogleich merklich, wenn man die Hände befeuchtet hat. Der Schlag einer Säule von 80 bis 100 Paaren ist sehr empfindlich. 66

Man empfindet einen Schlag in dem Momente, in welchem man die Kette durch die Finger schließt; so lange die Kette geschlossen bleibt, circulirt der elektrische Strom durch den Körper, ohne eine sehr merkliche Wirkung auf das Gefühl hervorzubringen, nur bei kräftigen Säulen von vielen Plattenpaaren empfindet man während des Geschlossenseyns ein brennendes stingelndes Gefühl an den Stellen, wo der Strom in den Körper eingeführt wird. Einen zweiten Schlag empfindet man aber in dem Augenblicke, in welchem man die Kette wieder öffnet; dieser letztere Schlag,

der Trennungsschlag, ist aber bei weitem schwächer als der Schließungsschlag.

Wenn man einen Finger mit dem einen Pole der Säule in Berührung läßt, den Finger am andern Pole aber in rascher Aufeinanderfolge abhebt und wieder aufsetzt, so folgen die Schläge ebenso rasch auf einander. Neef hat eine besondere Vorrichtung, das Blitzrad, construirt (Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 352), vermittelst dessen es möglich ist, den durch den Körper geleiteten Strom der Volta'schen Säule sehr rasch zu unterbrechen und wieder zu schließen. Durch diese schnelle Folge der Schließungs- und Trennungsschläge wird die Wirkung auf die Nerven außerordentlich gesteigert. Die Empfindung nähert sich mehr derjenigen, welche der continuirliche Strom einer sehr kräftigen Säule hervorbringt, kann aber leicht bis zum Unerträglichen gesteigert werden.

In den ersten Zeiten nach der Entdeckung des Galvanismus wurden zahlreiche Versuche über die medicinische Wirksamkeit galvanischer Ströme gemacht. Man versuchte, Nervenschmerzen, Gicht, Rheumatismus, Gliederlähmung u. s. w. zu heilen; man leitete die Ströme vermittelst metallischer Armaturen durch die afficirten Organe und vermehrte allmälig die Zahl der Plattenpaare, um die Wirkungen kräftiger zu machen. Die für medicinische Zwecke geeignetsten Apparate werden wir weiter unten kennen lernen. Es scheint wohl jetzt ausgemacht zu seyn, daß gewisse Uebel durch eine mit Einsicht geleitete galvanische Behandlung geheilt werden können.

Der galvanische Strom wirkt auch auf die Nerven frisch getödteter Thiere, denn, wie wir gesehen haben, werden Froschschenkel schon durch eine einfache galvanische Kette in Zuckungen versetzt.

Scheintodte oder ohnmächtige Thiere werden durch galvanische Schläge wieder ins Leben zurückgerufen.

Schon durch eine einfache Kette läßt sich eine blitzähnliche Erscheinung in den Augen hervorbringen. Man kann den Versuch auf mannigfache Weise anstellen; man bringt z. B. eine Silberplatte an den Augapfel selbst oder an das zuvor gut angefeuchtete Augenlied und berührt sie darauf mit einem Zinkstücke, welches man in der wohl angefeuchteten Hand hält oder im Munde stecken hat. Leitet man den Strom einer Säule durch die Augen, so wird die Lichterscheinung stärker.

Legt man ein Zinkstück auf, ein Silberstück unter die Zunge, bringt man alsdann die vorderen Enden beider Metalle in Berührung, so empfindet man einen eigenthümlich bittern Geschmack. Auch dieser Versuch ist auf mannigfache Weise abgeändert worden.

67 **Physikalische Wirkungen der Säule.** Die galvanischen Ströme bringen, wie die der Reibungselektricität, Wärme und Licht hervor.

Wenn man einen galvanischen Strom durch einen Metalldraht leitet, so erwärmt er sich; damit aber eine kräftige Wirkung erhalten wird, muß der Schließungsdraht recht kurz und dünn seyn. Die Stärke der Erhitzung richtet sich nach der Größe der Metallplatten und nicht nach ihrer Anzahl. Um Metalldrähte glühend zu machen, hat man nure ine einfache Kette von sehr großer Oberfläche nöthig, wie die Fig. 136 dargestellten. Ein Bunsen'scher Apparat eignet sich auch ganz vorzüglich zu diesen Glühversuchen. Je größer die wirkende Oberfläche des galvanischen Apparates ist, desto dickere Drähte kann man damit glühend machen und schmelzen.

Fig. 136.

Eisen- und Stahldraht wird weißglühend, schmilzt und verbrennt unter lebhaftem Funkensprühen.

Platindraht wird lebhaft glühend und schmilzt ab, wenn er für die angewandte Kette kurz und dünn genug ist.

Dünne Goldblättchen werden verflüchtigt, und da man die Pole mit ihnen nicht berühren kann, ohne daß sie sich an der Berührungsstelle in Dampf verwandeln, so wird die Kette fortwährend unterbrochen und wieder geschlossen, und dabei sieht man eine Menge kleiner blitzender Funken von grünlicher Farbe überspringen. Silberblättchen zeigen ähnliche Erscheinungen.

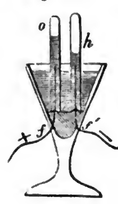
Eine der interessantesten durch die Säule hervorgebrachten Licht- und Wärmeerscheinungen ist H. Davy's Versuch mit Kohlenspitzen. An einer großen Glocke oder einem Ballon von 10 bis 12 Zoll Durchmesser sind diametral gegenüberstehend zwei Lederbüchsen angebracht, durch welche zwei Metallstäbe hindurchgehen, die man bis zur Berührung einander nähern und nach Belieben von einander entfernen kann. Am Ende eines jeden Metallstabes ist ein Kegel von Kohle (am besten von der Masse der Bunsen'schen Cylinder) befestigt, der aber das Metall mit einer großen Oberfläche berühren muß. Der Apparat wird luftleer gemacht, die Kohlenspitzen fast bis zur Berührung genähert; läßt man nun den Strom einer kräftigen Säule, d. h. den Strom einer Säule von vielen und großen Plattenpaaren, hindurchgehen, so geht der Strom zwischen den Kohlen über, deren Spitzen erhitzt werden und mit einem so blendenden Lichte leuchten, daß es die Augen kaum ertragen können. Wenn einmal der Strom im Gange ist, kann man auch die Spitzen allmälig von einander entfernen, ohne daß die Elektricität aufhört, den leeren Raum zwischen den Spitzen zu durchströmen; auf diese Weise bildet sich ein ungemein glänzender Lichtbogen.

Zur Hervorbringung dieses Kohlenlichtes ist der luftleere Raum nicht wesentlich nothwendig, nur wird im lufterfüllten Raume die Kohle zum Theil verzehrt.

Das helle Licht zwischen Kohlenspitzen läßt sich schon mit einem Bunsen'schen Apparate von 4 Elementen zeigen. Man hat zu diesem Ende nur zwei Kohlenstücke, die in derselben Weise präparirt sind wie die Kohlencylinder, mit den Polen *n* und *p* und dann die Kohlenstücke selbst in Berührung zu bringen. Die Berührung zwischen einem solchen Kohlenstücke und einem Pole muß in möglichst vielen Punkten stattfinden, die Kohlen selbst müssen sich aber nur in einer Spitze berühren; an der Berührungsstelle erscheint ein kleiner ungemein leuchtender Stern. Wenn man die Zahl der Elemente vermehrt, so nimmt der Glanz der Erscheinung außerordentlich zu; mit einer Kette von 30 bis 50 Elementen erhält man ein Licht, welches das Drumond'sche Kalklicht weit übertrifft. Bei Anwendung so vieler Paare kann man auch die Kohlenspitzen, wenn einmal der Strom übergeht, ziemlich weit von einander entfernen, und so erhält man durch die glühenden Kohlenpartikeln, welche von einem Pole zum andern übergehen, das herrliche Phänomen eines Lichtbogens.

68 **Chemische Wirkungen der Volta'schen Säule.** Die erste und wichtigste chemische Wirkung der Säule wurde zu Anfange dieses Jahrhunderts (30. April 1800) von Carlisle und Nicholson entdeckt. Diese beiden Physiker hatten, um die Volta'schen Versuche zu wiederholen, in der Eile eine Säule von Geldstücken, Zinkplatten und feuchten Pappscheiben aufgebaut. Nach einigen Versuchen wurde der eigenthümliche Geruch von Wasserstoffgas merklich, und Nicholson kam, dadurch veranlaßt, auf den glücklichen Gedanken, den Strom durch eine Röhre mit Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Bald stieg das Wasserstoffgas in kleinen Bläschen am negativen Pole auf, während der positive, aus Zink bestehende Poldraht sich oxydirte. Wird für den positiven Poldraht Platin oder Silber genommen, so oxydirt er sich nicht, sondern das Sauerstoffgas steigt ebenfalls in Bläschen in die Höhe. — So war denn endlich das Wasser direct in seine Elemente zerlegt. Cavendish hatte zwar schon gezeigt, daß Sauerstoff und Wasserstoff sich zu Wasser verbinden, aller Anstrengung ungeachtet war aber die directe Zersetzung des Wassers noch nicht gelungen. Ein passender Apparat zur Wasserzersetzung ist Fig. 137 dargestellt. Er besteht aus einem Glase, in dessen Boden zwei Platindrähte *f* und *f'* eingeschmolzen sind, welche sich jedoch nicht berühren dürfen. Zwei Glasglöckchen *o* und *h* sind mit Wasser gefüllt und umgestürzt in das Glas eingesetzt, so daß sich über jedem der beiden Drähte ein solches Glöckchen befindet. Sobald man nun die Drähte *f* und *f'* mit den Polen der Kette in Verbindung bringt,

Fig. 137.

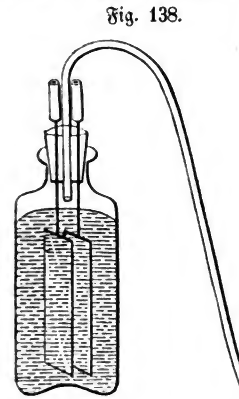


entwickeln sich Gasblasen in reichlichem Maaße. Reines Sauerstoffgas steigt immer in dem einen Glöckchen über dem positiven Pole auf, das Wasserstoffgas im andern. Es versteht sich von selbst, daß das Wasser in den Glöckchen von dem Wasser in dem Gefäße nicht abgesperrt seyn darf, damit der Strom von einem Drahte durch die Flüssigkeit zum andern gelangen könne.

Die Gasentwickelung ist um so lebhafter, je näher die Poldrähte f und f' einander sind und je größer die Oberfläche des Metalls ist, welche mit dem Wasser in Berührung steht. Man hat deshalb bei vielen Apparaten, welche zur Wasserzersetzung dienen sollen, die Drähte durch Platinplättchen ersetzt.

Das destillirte und vollkommen reine Wasser wird auf diese Weise doch nur langsam zersetzt, sobald man aber nur einige Tropfen irgend einer Säure zugießt oder einige Körnchen Salz im Wasser auflös't, wodurch sein Leitungsvermögen bedeutend erhöht wird, beginnt eine sehr lebhafte Gasbildung, so daß man in kurzer Zeit eine ziemlich bedeutende Menge der Gase auffangen kann. Wie die Quantität der gebildeten Gase von der Stromstärke abhängt, werden wir später sehen.

Fig. 138.



Wenn es nicht darauf ankommt, die beiden Gasarten getrennt aufzufangen, kann man sich des Apparates Fig. 138 bedienen, in welchem mehr Wasser zersetzt wird, weil zwei größere Polplatten von Platin sich viel näher stehen. Das Knallgas entweicht durch eine gebogene Röhre, und wenn man die Oeffnung derselben unter Wasser taucht, so kann man das Gas auffangen oder die einzelnen entweichenden Blasen sogleich verpuffen.

Die Sauerstoffmenge, welche am positiven Pole frei und in der Röhre o, Fig. 137, gesammelt wird, ist dem Volumen nach immer nur halb so groß als die des Wasserstoffs, welcher am anderen Pole frei wird und in der Röhre h aufsteigt. Die Gase werden also gerade in dem Verhältnisse ausgeschieden, in welchem sie sich zu Wasser verbinden. Das Wasser besteht bekanntlich aus 1 Aequivalente Sauerstoffgas + 1 Aeq. Wasserstoff. Ein Aeq. Wasserstoffgas aber nimmt unter fast gleichen Umständen einen doppelt so großen Raum ein als 1 Aeq. Sauerstoff. Die durch die Säule ausgeschiedenen Gase würden also, mit einander verbunden, wieder Wasser geben.

Grotthuß hat von dieser merkwürdigen Erscheinung folgende Erklärung gegeben, welche jetzt von fast allen Physikern als die richtige angenommen wird. Wenn Wasserstoffgas mit Sauerstoff zu Wasser verbunden ist, so werden bei dieser innigen Berührung der kleinsten Theilchen die Sauerstoffatome negativ, die Wasserstoffatome positiv elektrisch; wegen der gleichförmigen Vertheilung der Theilchen beider Substanzen aber zeigt natürlich die Verbindung keine freie Elektricität. Wenn sich nun Wasser zwischen den beiden Polen einer galvanischen Kette befindet, so wird der positive Pol auf die zunächstliegenden Wassertheilchen in der Weise wirken, daß der negative Bestandtheil angezogen und dem positiven Pole zugekehrt wird, während das abgestoßene Wasserstoffatom des ersten Wassermoleküls von dem positiven Pole abgewendet ist. Das Wassertheilchen 1 wirkt aber auf das Wassertheilchen 2 in der Weise, daß es seine Elemente nach derselben Seite hin kehrt; in derselben Weise wirkt 2 auf 3 u. s. w. So kommt es denn, daß alle Wassermoleküle zwischen den beiden Polen ihr Sauerstoffatom dem positiven Pole, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pole zukehren, ungefähr so, wie es Fig. 139 versinnlicht, wo die Kreischen Wassertheilchen darstellen, und zwar die schwarzen Hälften das Wasserstoffatom, die weißen das Sauerstoffatom. Wenn nun die Anziehung, welche der positive Pol auf das Sauerstoffatom des Wassertheilchens 1 ausübt, groß genug ist, so wird es gleichsam seinem Wasserstoffatome entrissen; dieses Wasserstoffatom verbindet sich wieder mit dem Sauerstoffe des Wassertheilchens 2; der Wasserstoff von 2 verbindet sich mit dem Sauerstoff von 3 u. s. w. Auf diese Weise geht auf der ganzen Strecke zwischen beiden Polen eine beständige Zersetzung und Wiederbildung von Wasser vor sich, nur an den Polen selbst können die Bestandtheile desselben frei werden.

Fig. 139.



Gerade so wie zwischen den Polen findet auch in allen Zellen der galvanischen Kette eine Wasserzersetzung Statt.

Die Oxyde werden ebenso durch die galvanische Kette zerlegt wie das Wasser. Sauerstoff erscheint am + Pol, das Radikal am — Pol. Für leicht reducirbare Metalloxyde kann man den Versuch auf folgende Weise machen: Auf ein Platinblech, welches mit dem + Pol der Säule in Verbindung ist, streut man etwas von dem trocknen pulverförmigen Oxyde und berührt dann dieses Pulver mit dem negativen Drahte, so sieht man bald am dem Ende des Drahtes kleine Metallkügelchen erscheinen. Schwerer reducirbare Oxyde müssen, besonders wenn sie pulverförmig sind, etwas mit Wasser angefeuchtet werden. Freilich wird auch das Wasser zum Theil zerlegt, es dient aber auch, um die Leitungsfähigkeit zu vergrößern; nach einiger Zeit sieht man, wenn die Säule

kräftig genug ist, kleine Metallkügelchen am negativen Pole erscheinen.

Eine neue Epoche der Wissenschaft begann mit der im Jahre 1807 von Davy mit Hülfe der Säule gemachten Entdeckung der Zerlegbarkeit der Alkalien, welche man bis dahin für einfache Körper gehalten hatte. Die Alkalien und Erden wurden dadurch in die Klasse der Oxyde zurückgeführt und die Chemie mit zwei neuen metallischen Körpern, Kalium und Natrium, bereichert. Um Kali zu zerlegen, muß man eine sehr kräftige Säule anwenden. Macht man den Versuch in der oben angegebenen Weise, so sieht man zahlreiche Metallkügelchen am negativen Pole erscheinen und unter Funkensprühen wieder verschwinden. Es ist dies das Kalium, welches bei der Zerlegung des Kali's frei wird. Seine Verwandtschaft zum Sauerstoffe ist aber so groß, daß es sich, mit der Luft in Berührung, sogleich wieder oxydirt, wenn es aber mit Wasser in Berührung kommt, so entzieht es diesem den Sauerstoff und entzündet das Wasserstoffgas, daher denn die Feuererscheinung. Man muß deshalb das Kalium in einer nicht sauerstoffhaltigen Flüssigkeit aufbewahren. Man gebraucht zu diesem Zwecke gewöhnlich Steinöl, welches aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist.

Seebeck hat ein Mittel angegeben, um das durch die Säule ausgeschiedene Kalium sicherer zu sammeln. In ein Stück kaustischen Kali's, welches zersetzt werden soll, wird eine Höhlung gemacht und Quecksilber in dieselbe gegossen. Das Kali wird dann auf ein mit dem positiven Pole der Säule in Verbindung stehendes Platinstück gelegt, das negative Drahtende aber in das Quecksilber getaucht. Alsbald geht die Zersetzung vor sich, Sauerstoff wird am Platin frei, das Kalium aber verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem ziemlich beständigen Amalgam. Durch Destillation in einer Atmosphäre von Steinöldampf kann man alsdann das Quecksilber abscheiden und das Kalium in reinem Zustande erhalten.

Auch die Salze werden durch den galvanischen Strom zerlegt, und zwar erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole. Die Zerlegung der Salze läßt sich dem Auge auf folgende Weise sehr gut sichtbar machen. Man fülle eine Vförmig gebogene Röhre, Fig. 140, mit einer Salzlösung, die durch Lackmustinctur violet gefärbt ist. Taucht man nun auf der einen Seite den positiven, auf der andern den negativen Poldraht in die Flüssigkeit, so wird sie sich am positiven Pole roth, am negativen blau färben. Vertauscht man nun die Pole, so stellt sich erst allmälig die ursprüngliche violete Färbung wieder her, dann aber erscheint Roth da, wo vor der Vertauschung der Drähte Blau war, und umgekehrt.

Fig. 140.

Gießt man eine Salzlösung in zwei neben einander

stehende Gefäße, die durch ein feuchtes Asbestgewebe oder durch einen Λförmigen mit der Flüssigkeit gefüllten Heber verbunden sind, taucht man dann in das eine Gefäß den positiven, in das andere den negativen Poldraht, so geht die Zersetzung ebenfalls vor sich, und nach einiger Zeit findet sich die Säure in dem Gefäße, in welchem der positive Draht eingetaucht ist, die Basis im andern. Selbst wenn man in das Gefäß *A*, welches den positiven Poldraht enthält, die basische Lösung, in das andere, *B*, aber die Säure gießt, so findet sich nach einiger Zeit die Säure in *A*, die Basis in *B*. Man hat diese Versuche auf mannigfache Weise abgeändert.

Nicht immer wird eine Salzlösung durch den galvanischen Strom in Säure und Basis, häufig nämlich wird nur die Säure oder die Basis zerlegt. Eine Auflösung von Kupfervitriol z. B. wird in der Weise zerlegt, daß sich das Kupfer an dem negativen Pole ausscheidet, während der Sauerstoff des Kupferoxyds auf der andern Seite aus seiner bisherigen Verbindung austritt. Sehr schön geht diese Zersetzung des Kupfervitriols in der Seite 141 beschriebenen constanten Kette von Becquerel und in der Daniel'schen vor sich. Wenn die Kette geschlossen ist, so geht der positive Strom vom Zink durch die verdünnte Schwefelsäure, dann durch die Kupfervitriollösung zum Kupfer. Wird das Zink, in Berührung mit dem Kupfer, + elektrisch, das Kupfer — elektrisch, so ist Zink also der positive, das Kupfer der negative Pol, der positive Strom tritt also beim Zink, der negative am Kupfer in die Flüssigkeit ein. Auf der einen Seite der Scheidewand wird nun Wasser zerlegt, der Sauerstoff geht an das Zink, um Zinkoxyd zu bilden, welches sich in der Säure auflös't, wodurch dann Zinkvitriol entsteht. Das Wasserstoffgas geht bis an die Scheidewand und bildet dort gleichsam den positiven Pol für den Strom, der nun in die andere Flüssigkeit übergeht. Das Kupferoxyd wird durch diesen Strom zerlegt, der Sauerstoff des Oxyds wandert zum positiven Pole, also zur Scheidewand, wo er sich mit dem auf der andern Seite ausgeschiedenen Wasserstoffe zu Wasser verbindet, während das Kupfer am negativen Pole, also an der Kupferplatte metallisch ausgeschieden wird.

Von diesem metallischen Niederschlage des Kupfers hat man eine höchst interessante Anwendung gemacht, welche unter dem Namen der Galvanoplastik bekannt ist; man braucht nämlich nur dem negativen Elemente einer solchen Combination eine bestimmte Form zu geben, um Abdrücke dieser Form von metallischem Kupfer zu erhalten.

Um die Becquerel'sche Kette zu diesem Zwecke anzuwenden, muß man ihr eine etwas andere Gestalt geben. Zur Vervielfältigung von Münzen, Medaillen u. s. w. eignet sich ganz besonders der in

Fig. 141 dargestellte Apparat. *a b* ist ein oben offenes, etwa 6—8 Zoll im Durchmesser haltendes Glasgefäß. In dieses hängt ein zweites engeres Glasgefäß *c d* von oben hinein, welches unten mit einer Thierblase zugebunden ist. Etwas über der Mitte ist um dieses engere Glasgefäß ein Draht fest herumgewunden, der in drei Armen ausläuft, welche, auf dem Rande des äußeren Glasgefäßes aufliegend, das innere tragen, so daß die Blase noch 1,5 bis 2 Zoll hoch über dem Boden des größern Gefäßes sich befindet. Das innere Gefäß wird nun mit sehr verdünnter Schwefelsäure, der Zwischenraum zwischen dem inneren und dem äußeren Cylinder mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt. In der verdünnten Schwefelsäure ruht auf einem Kreuze von Holzstäbchen ein Zinkblock, an welchen ein Kupferdraht gelöthet ist, welcher den Zinkblock mit dem Quecksilbernäpfchen *q* verbindet. Aus dem Quecksilber dieses Näpfchens geht ein zweiter Kupferdraht zu der in der Kupfervitriollösung liegenden Form, welche nothwendig aus einem Stoffe bestehen muß, welcher mehr elektronegativ ist als Zink.

Fig. 141.



Eine solche Form kann man sich verschaffen, wenn man von der zu vervielfältigenden Münze einen Abguß von der leichtflüssigen Rose'schen Metalllegirung macht. Noch leichter sind Formen von Wachs und Stearin zu machen. Man schmilzt Wachs und Stearin mit etwas fein gepulvertem Graphit zusammen und gießt die Flüssigkeit auf die mit einem Papierrande versehene Münze, so erhält man eine sehr schöne Form. Diese Form ist aber nicht leitend, sie wird es erst dadurch, daß man die Fläche der Form, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit einer sehr dünnen zarten Schicht von feiner Kupferbronce überzieht. Dieser Ueberzug, welcher mit Hülfe eines zarten Pinsels gemacht wird, benimmt der Form durchaus nichts an Reinheit und Schärfe. Die Form wird in die Kupfervitriollösung so gelegt, daß die leitend gemachte Oberfläche nach oben gekehrt ist. Der Kupferdraht braucht mit der feinen Graphitschicht der Form nur eben in Berührung zu seyn.

Derjenige Theil des Kupferdrahtes, welcher in die Lösung von Kupfervitriol eingetaucht ist, muß mit Schellack oder Siegellack überzogen seyn, weil sich sonst auch auf diesem Drahte metallisches Kupfer absetzt; nur da, wo er auf die Form aufgesetzt ist, muß er metallisch seyn.

Der Strom, welcher durch den Apparat circulirt, ist nur schwach; das Kupfer setzt sich langsam auf die Kupferfläche ab, und zwar setzt es sich zunächst um den Kupferdraht an; man muß deshalb von Zeit zu Zeit

den Draht an einer andern Stelle der Form aufsetzen. Je nachdem der Strom stärker oder schwächer ist, ist in einem oder in mehreren Tagen die Kupferschicht dick genug zum Abnehmen. Bei schwächeren Strömen wird der Kupferniederschlag am gleichförmigsten; deshalb darf die Flüssigkeit, in welcher sich der Zinkblock befindet, nur schwach sauer seyn.

Je mehr Kupfer sich abgesetzt hat, desto heller wird die Vitriollösung. Wenn es nöthig ist, muß man die verbrauchte Lösung durch neue ersetzen.

Manchmal ist es vortheilhafter, die Lösung des Kupfervitriols mit der Form in das innere Gefäß, die Säure mit dem Zinkblocke aber in das äußere zu bringen.

Man hat in neuerer Zeit sehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplastik gemacht; es ist gelungen, auf diese Weise Holzschnitte mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, wodurch es möglich wird, von einer und derselben Figur beliebig viele Abdrücke zu erhalten, ohne daß die späteren den früheren nachstehen. Die Holzschnitte dieses Werkes sind mit solchen Kupfertypen gedruckt.

Eine gestochene Kupferplatte hält bekanntlich nicht sehr viele Abdrücke aus, ohne bedeutend zu verlieren; die späteren Abdrücke sind immer schlechter als die ersten; daher der Werth der sogenannten avant la lettre. Dadurch ist der Stahlstich so sehr in Aufnahme gekommen, weil eine Stahlplatte ungleich mehr Abdrücke aushalten kann. Für die Kunst ist dies von entschiedenem Nachtheile, weil die Härte dieses Materials dem Künstler sehr große technische Schwierigkeiten entgegensetzt, welche es ihm unmöglich machen, auf Stahl ein so vollendetes Kunstwerk zu liefern wie auf Kupfer. Nun hat man aber gelernt, Kupferplatten, selbst große Kupferplatten auf galvanoplastischem Wege zu vervielfältigen, und zwar so, daß die Abdrücke der Copien, deren man beliebig viele machen kann, denen der Originalplatte ganz gleich sind.

Endlich hat Kobell in München ein Verfahren angegeben, um in Tuschmanier gemalte Bilder durch Galvanoplastik zu vervielfältigen. Auf eine übersilberte Kupferplatte malt man mit einer Farbe, welche dadurch bereitet wird, daß man Oker oder Coaks mit einer Auflösung von Wachs und Terpentinöl anreibt und etwas Dammara-Firniß zusetzt. Mit dieser Farbe malt man auf die Platte so, daß die hellsten Lichter frei bleiben und die Farbe um so dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten seyn soll. Sobald das Bild fertig gemalt ist, wird es mit Hülfe eines zarten Pinsels mit feingepulvertem Graphit überzogen und dann in den galvanoplastischen Apparat eingesetzt. Allmälig schlägt sich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher alle Lichtpartieen der ersteren eben, die Schattenpartieen aber vertieft sind; diese Platte liefert nun, wie eine gestochene Kupferplatte

behandelt, Abdrücke, welche einer getuschten Zeichnung ähnlich sehen. Thayer in Wien hat es in dieser Manier schon zu großer Vollkommenheit gebracht, und es läßt sich erwarten, daß sie für die Kunst noch von großer Wichtigkeit werden wird.

Ebenso wie sich aus einer Auflösung von Kupfervitriol auf galvanischem Wege Kupfer am negativen Pole der Kette absetzt, ebenso setzen sich auch andere Metalle, wie Gold, Silber, Platin aus einer geeigneten Auflösung am negativen Pole ab, und man kann auf diese Weise andere Metalle vergolden, versilbern u. s. w. Näheres darüber würde uns hier zu weit führen.

Ein interessantes Beispiel von Metallfällungen bieten die Nobili'schen Farbenringe dar. Wenn man auf ein Silberplättchen einige Tropfen essigsaures Bleioxyd bringt und alsdann mit der Spitze eines Zinkstückchens in der Mitte der Flüssigkeit das Silber berührt, so bilden sich um die Berührungsstelle mehrere concentrische farbige Ringe. Noch schöner bilden sich diese Ringe, wenn man die Flüssigkeit zwischen die beiden Pole einer mehrplattigen Säule bringt und dem einen Pole die Form einer Platte, dem andern aber die einer Spitze giebt und die Spitze der Platte zukehrt, so daß der elektrische Strom durch die Flüssigkeit von der Spitze zur Platte oder umgekehrt übergeht. Auch mit anderen Flüssigkeiten hat Nobili ähnliche Farbenringe erhalten.

Chlor-, Jod- und Brommetalle werden ebenfalls durch den elektrischen Strom zersetzt, und zwar scheidet sich das Metall am negativen, Chlor, Jod und Brom am positiven Pole aus. Schon durch die allerschwächsten Ströme kann das Jodkalium zerlegt werden.

Wenn man wässrige Lösungen der Einwirkung des elektrischen Stroms unterwirft, so werden die Resultate der Zersetzung sehr häufig durch die Gegenwart des Wassers modificirt. Um die Mitwirkung des Wassers zu vermeiden, hat Faraday viele Körper durch Schmelzen in flüssigen Zustand versetzt und so der Einwirkung des Stroms unterworfen. So zerlegte er z. B. Chlorblei, Chlorsilber u. s. w., indem er sie auf eine Glasplatte legte, durch eine Weingeistlampe schmolz und alsdann die beiden Poldrähte in die flüssige Masse eintauchte. Wenn in das geschmolzene Chlorsilber Poldrähte von Silber eingetaucht werden, so wird am negativen Pole Silber ausgeschieden, welches sich am Drahte ansetzt, während der andere Silberdraht durch das frei gewordene Chlor aufgelös't wird.

Faraday hat darauf aufmerksam gemacht, daß man bei den durch die Säule bewirkten Zersetzungen directe und sekundäre unterscheiden muß.

Die Zersetzung des Wassers in seine Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, welche an den beiden Polen auftreten, ebenso die Zersetzung der

Chlorwasserstoffsäure in Chlor und Wasserstoff sind direkte Zersetzungen, denn hier treten die beiden Elemente an den entgegengesetzten Polen auf. Unterwirft man aber Salpetersäure der Wirkung des Volta'schen Stroms, so wird das Wasser zersetzt, allein der Wasserstoff, welcher am negativen Pole ausgeschieden wird, zersetzt sogleich die Salpetersäure, indem wieder Wasser und salpetrige Säure gebildet wird. Am positiven Pole also wird Sauerstoff frei, am negativen salpetrige Säure, und zwar ist diese Erscheinung nicht direct durch die zerlegende Kraft der Säule, sondern durch die vermittelnde Wirkung des zerlegten Wassers hervorgebracht, es ist also eine secundäre Wirkung. So vereinigt sich bei einer Ammoniaklösung der Sauerstoff des zerlegten Wassers am positiven Pol mit dem Wasserstoff der Ammoniaks und Stickstoffgas wird frei. Viele secundäre Wirkungen werden auf solche Weise hervorgebracht, namentlich, wenn man wässrige Lösungen anwendet.

Bei solchen Körpern, welche nur aus zwei Elementen bestehen, hat das Verhältniß der Zusammensetzung einen wesentlichen Einfluß auf die Zerlegbarkeit; Chlorwasserstoffsäure, Chlorblei, Chlorsilber u. s. w. werden durch den elektrischen Strom leicht zerlegt, während die Perchloride der Zersetzung widerstehen. Faraday hat gezeigt, daß alle Substanzen, welche aus einem Aequivalent des einen Elementes und zwei oder mehreren Aequivalenten des andern Elementes bestehen, keine Elektrolyte sind; so nennt nämlich Faraday die durch den galvanischen Strom direkt zerlegbaren Körper. In die Klasse der Elektrolyte gehören unter den binären Verbindungen nur solche, bei welchen immer 1 Aequivalent des einen Elements mit 1 Aequivalent des andern verbunden ist. Das ist der Grund, warum Schwefelsäure, Salpetersäure und Ammoniak nicht unmittelbar durch den Galvanismus zerlegbar sind. Schwefelsäure besteht nämlich aus 1 Aeq. Schwefel und 3 Aeq. Sauerstoff; Salpetersäure aus 1 Aeq. Stickstoff und 5 Aeq. Sauerstoff; Ammoniak aus 1 Aeq. Stickstoff und 3 Aeq. Wasserstoff.

Wir haben bisher immer von Zersetzungen gesprochen, welche durch den galvanischen Strom hervorgebracht werden, er ist aber auch sehr geeignet, chemische Verbindungen zu begünstigen. Nimmt man ein leicht oxydirbares Metall, etwa Zink, zum positiven Poldraht, so verbindet sich das Metall sehr leicht mit dem aus dem Wasser ausgeschiedenen Sauerstoff. Zink löst sich in verdünnter Schwefelsäure nur langsam auf, wenn es vollkommen chemisch rein ist; berührt man es aber mit einem Stück Silber, so beginnt augenblicklich eine lebhafte Gasentwickelung am Silber, während das Zink sich mit dem Sauerstoff zu Oxyd verbindet, welches durch die Säure aufgelös't wird.

Wenn man die beiden Poldrähte einer galvanischen Kette von Zink

machte, so würde, wenn man beide in gesäuertes Wasser eintaucht, die Zersetzung des Wassers gerade so vor sich gehen, als ob man Platin oder Kupferdrähte angewandt hätte. Am negativen Poldraht scheidet sich das Wasserstoffgas aus, und dieser Poldraht wird nun nicht von der Säure angegriffen wie es der Fall wäre, wenn er nicht durch seine Verbindung mit der Säule elektronegativ und dadurch vor dem Anfressen geschützt wäre, der positive Poldraht dagegen wird um so rascher verzehrt.

Ein Metall, welches an und für sich von einer Säure oder irgend einer andern Flüssigkeit angegriffen wird, kann dadurch, daß man es mit einem noch mehr elektropositiven Metall so in Berührung bringt, daß es den negativen Pol einer einfachen Kette bildet, vor dem Anfressen geschützt werden.

Während der Strom, welcher bei der Berührung zweier in derselben Flüssigkeit eingetauchten Metalle entsteht, die Wirkungen der Verwandtschaft eines derselben zu dem einen Elemente der Flüssigkeit vergrößert, wird das Vermögen des andern Metalls, dieselben Veränderungen zu erleiden, verhältnißmäßig verkleinert. So wird, wenn eine Zink- und Kupferplatte sich in einer verdünnten Säure berühren, das Zink schneller, das Kupfer weniger schnell oxydirt, als es außerdem der Fall seyn würde. Für dieses Princip geben die Versuche Davy's über die Erhaltung des Kupferbeschlags der Schiffe ein schönes Beispiel. Eine Kupferplatte in Seewasser eingetaucht, ist einem schnellen Anfressen unterworfen; wenn aber das Kupfer in Berührung mit Zink oder Eisen ist, so werden diese Metalle aufgelös't, das Kupfer aber dadurch geschützt. Davy hat gefunden, daß ein Stück Zink, so groß wie der Kopf eines kleinen Nagels, hinreicht, um 40 bis 50 Quadratzoll Kupfer zu schützen.

Leider hat sich gezeigt, daß diese schöne Methode, das Kupfer rein zu erhalten, praktisch nicht angewendet werden kann, weil das Kupfer bis zu einem gewissen Grade angefressen seyn muß, wenn es nicht durch Anhängen von Seegras und Schalthieren verunreinigt werden soll.

Dasselbe Princip hat v. Althaus angewandt, um das Anfressen an eisernen Pfannen, in welchen die Salzsole versotten wird, zu verhindern. Hier durfte aber das schützende Zink nicht in den Pfannen selbst angebracht werden, weil sonst das gebildete Zinkvitriol sich in der Salzlösung verbreitet hätte. Er schnitt deshalb die Ecken der Pfannen durch ein Brett ab, goß die so gebildeten Kammern, deren Boden durch die Eisenplatte gebildet wurden, mit Zink aus. So war das Zink mit dem Eisen in metallischer Berührung, und die Flüssigkeit sickerte in hinlänglicher Menge durch das Holz zum Zink durch, um die Kette zu schließen, der gebildete Zinkvitriol konnte aber die Salzlösung nicht verunreinigen.

Auf diese Weise wurde es möglich, die Verdampfung bei geringerer Tem-

peratur vorzunehmen, wodurch eine bedeutende Ersparung an Brennmaterial erzielt wurde.

69 **Elektrochemische Theorie.** Die bisher besprochenen Erscheinungen zeigen uns merkwürdige Beziehungen zwischen den chemischen und elektrischen Kräften. Schon früher hatte man unbestimmt vermuthet, daß bei den chemischen Erscheinungen elektrische Kräfte thätig seyn möchten; man ging jedoch erst näher auf diese Vorstellung ein, als die Wasserzersetzung durch die Volta'sche Säule bekannt geworden war, namentlich waren es Davy und Berzelius, welche dieselbe ausbildeten; sie stellten die elektrochemische Theorie auf, nach welcher die Grundursache der chemischen Verbindungen in einer elektrischen Anziehung zu suchen ist. Wenn es auch noch nicht vollständig bewiesen ist, daß chemische Affinität und elektrische Anziehung völlig identisch sind, so muß doch zugeben werden, daß diese Theorie als ein gemeinsames Band viele Thatsachen auf eine Weise verknüpft, welche der Erfahrung keineswegs widerspricht.

So wie Zink und Kupfer, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, so werden, nach der elektrochemischen Theorie, die Atome je zweier Elemente entgegengesetzt elektrisch, wenn sie mit einander in Berührung kommen; kurz, alle Elemente sind nach der oben, Seite 123, angegebenen Bedeutung Glieder der Spannungsreihe. Die äußersten Glieder dieser vollständigen Spannungsreihe sind Sauerstoff und Kalium, und zwar bildet Sauerstoff das negative, Kalium das positive Ende. Folgendes ist die vollständige Spannungsreihe:

—

Sauerstoff	Antimon
Schwefel	Tantal
Selen	Titan
Tellur	Silicium
Stickstoff	Osmium
Chlor	Gold
Brom	Iridium
Jod	Rhodium
Fluor	Platin
Phosphor	Palladium
Arsenik	Quecksilber
Kohlenstoff	Silber
Chrom	Kupfer
Molybdän	Uran
Bor	Wismuth
Vanadin	Blei
Wolfram	Cerium

Lanthan	Aluminium
Yttrium	Thorium
Kobalt	Beryllium
Nickel	Magnesium
Eisen	Calcium
Cadmium	Strontium
Zink	Barium
Wasserstoff	Lithium
Mangan	Natrium
Zirconium	Kalium.
	+

In dieser Reihe sind alle einfachen Stoffe enthalten, und jedem ist seine Stelle angewiesen, obgleich in dieser Beziehung noch manche Zweifel herrschen, und die Stellung der meisten Körper in der Spannungsreihe nur ungefähr, aber nicht genau bestimmt ist. Bei den wenigsten Körpern ist diese Stellung durch direkte Versuche ermittelt; für die meisten hat man sie aus ihrem chemischen Verhalten zu erschließen gesucht.

Nach der elektrochemischen Theorie sind die Atome der Elemente nicht an und für sich elektrisch, sie werden es erst in Berührung mit andern, und so kommt es denn, daß ein und derselbe Körper bald positiv, bald negativ elektrisch werden kann. So bildet z. B. Schwefel in Verbindung mit Sauerstoff das elektropositive, in Verbindung mit Wasserstoff das elektronegative Element.

Wir haben gesehen, daß zwei heterogene Metallplatten, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, daß aber der größte Theil der entwickelten Elektricitäten an der Berührungsfläche gebunden bleibt; so auch bei chemischen Verbindungen. Wenn z. B. ein Sauerstofftheilchen und ein Wasserstofftheilchen in Berührung kommen, wird das erstere —, das letztere + elektrisch, die beiden Elektricitäten ziehen sich nun an und binden sich wegen der großen Nähe fast vollständig. Wenn aber auch noch etwas freie $+E$ auf dem einen und $-E$ auf dem andern Theilchen ist, so kann die chemische Verbindung doch durchaus keine Zeichen freier Elektricität geben, weil die positiven und negativen Theilchen gleichförmig vertheilt sind und, wo man auch den Körper berühren mag, eben so viel positive als negative Theilchen berührt.

Zunächst verbinden sich die einfachen Stoffe, immer je zwei, zu binären Verbindungen. Die zusammengesetzten Körper, wie die Sauerstoff-, Schwefel- und Chlorverbindungen zeigen unter sich ein ähnliches Verhalten wie die einfachen Stoffe; diejenigen binären Verbindungen der einfachen Elemente, Oxyde, Sulfüre, Chlorüre u. s. w., welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften charakterisiren und zugleich fähig sind, Verbindungen

einer höheren Ordnung einzugehen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche in ihren weiteren Verbindungen die Rolle des elektropositiven Bestandtheils übernehmen, nennt man Salzbasen.

Der Charakter einer Säure wird sich im Allgemeinen um so stärker ausdrücken, je näher ihre Elemente dem negativen Ende der Spannungsreihe liegen; daher ist die Schwefelsäure die stärkste aller Säuren. Der Sauerstoff bildet Säuren mit den in der oben mitgetheilten Spannungsreihe zu oberst stehenden Körpern, Basen mit den am positiven Ende stehenden Elementen, und in der That ist Kali die stärkste aller Basen.

Wenn ein und derselbe Körper sich in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff verbindet, so wird die Verbindung um so mehr elektronegativ werden, sie wird um so weniger basische und um so mehr saure Eigenschaften annehmen, je mehr das elektronegative Element, der Sauerstoff, vorherrscht. So bildet 1 Aeq. Mangan, verbunden mit 1 Aeq. Sauerstoff, das Manganoxyd, welches basische Eigenschaften hat, während 1 Aeq. Mangan + 3 Aeq. Sauerstoff die Mangansäure bilden.

Die elektrochemische Theorie reicht in ihrem jetzigen Umfange freilich noch nicht aus, um alle chemischen Erscheinungen vollständig zu erklären, aber die auf sie gegründete Classification der Körper stimmt mit dem Verhalten derselben recht gut überein und ist sehr geeignet, von den chemischen Gesetzen eine klare Ansicht zu geben.

70 **Das elektrolytische Gesetz.** Es kann wahrscheinlich gar kein, wenigstens kein nur einigermaßen starker elektrischer Strom durch eine Flüssigkeit hindurchgehen, ohne daß dieser Durchgang von einer chemischen Zersetzung begleitet ist. In jeder Zelle eines jeden galvanischen Apparates findet eine solche Zersetzung Statt, so lange er geschlossen bleibt, und Faraday hat gezeigt, daß die Quantität des elektrischen Stromes der Zersetzung in jeder einzelnen Zelle proportional ist.

Daß zwischen der Leitung des elektrischen Stromes durch Flüssigkeiten und ihrer Zersetzung eine innige Beziehung stattfindet, ist wohl nicht zu verkennen, ja man kann geradezu behaupten, daß der Uebergang der Elektricität durch die chemische Zersetzung vermittelt wird. In jeder Zelle geht der positive Strom vom Zink aus durch die Flüssigkeit zum Kupfer, in derselben Richtung wandern aber auch die Wasserstoffpartikelchen fort; sie sind die Träger der positiven Elektricität, welche durch sie zu der Kupferplatte übergeführt wird. In der That haben wir gesehen, daß den Grundsätzen der elektrochemischen Theorie zufolge in jedem Wasseratome die Elemente gerade deshalb so fest zusammengehalten werden, weil Sauerstoff und Wasserstoff, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, und weil diese entgegengesetzten Elektricitäten der Wasserelemente sich gegenseitig binden. Indem ein Wasserstoffatom von seinem Sauerstoffe getrennt wird,

so wird auch alle seine gebundene Elektricität frei, sie wird aber, wenn der Wasserstoff sich dagegen auf der andern Seite wieder mit einem andern Sauerstofftheilchen verbindet, sogleich wieder gebunden, und so führt jedes Wasserstoffatom seine gebundene positive Elektricität fort, und an dem negativen Pole wird mit dem Wasserstoffe zugleich auch seine positive Elektricität frei.

Während gewöhnliches käufliches Zink, in verdünnte Schwefelsäure getaucht, rasch aufgelös't wird, bleibt chemisch reines Zink oder amalgamirtes Zink in derselben Flüssigkeit unangegriffen. Construirt man nun eine galvanische Kette mit chemisch reinen oder mit amalgamirten Zinkplatten, so kann begreiflicher Weise in einer solchen Kette keine Wasserzersetzung stattfinden, so lange sie nicht geschlossen ist. Wird aber die Kette geschlossen, so beginnt augenblicklich die Wasserzersetzung in jeder Zelle, es wird jedoch nur gerade so viel Wasser zersetzt und Zink aufgelös't, als zur Leitung des circulirenden Stroms nöthig ist; die Menge des aufgelös'ten Zinks muß also in einem ganz bestimmten Verhältnisse zu diesem Strome stehen. Faraday wandte den Strom einer solchen Kette zur Wasserzersetzung an und bestimmte genau die in einer gegebenen Zeit entwickelte Menge von Knallgas. Es fand sich nun, daß für jedes Gewichtstheil Wasserstoffgas, welches zwischen den Poldrähten oder vielmehr den Polplatten frei wurde, in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink aufgelös't worden waren. Nun aber verhalten sich die Gewichte der chemischen Aequivalente von Wasserstoff und Zink zu einander wie 12,48 zu 403,23 oder wie 1 zu 32,3. Für jedes Aequivalent Wasserstoff also, welches in der Zerlegungszelle entwickelt wird, muß in jeder Zelle der Kette 1 Aeq. Zink aufgelös't werden.

Wenn derselbe Strom durch 4 Zerlegungszellen geleitet wird, von denen die 1ste Wasser, die 2te Chlorsilber, die 3te Chlorblei, die 4te Chlorzinn, alle aber im flüssigen Zustande, enthält, so verhalten sich die Quantitäten Wasserstoffgas, Silber, Blei und Zinn, welche an den 4 negativen Polen ausgeschieden werden, wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9, während an den positiven Polen Sauerstoffgas und Chlor, und zwar im Verhältnisse von 8 : 35,4, ausgeschieden werden. Aehnliche Thatsachen sind für viele andere zusammengesetzte Körper dargethan worden.

Es ergiebt sich aus diesen Thatsachen, daß die chemischen Aequivalente diejenigen relativen Gewichte der Stoffe bezeichnen, welche, in Berührung mit einem und demselben Elemente, eine gleich starke elektrische Polarität annehmen.

Theorie der constanten Ketten. Die gewöhnlichen Volta'schen Ketten, in welchen nur eine Flüssigkeit angewandt wird, geben, wie schon bemerkt wurde, im ersten Augenblicke einen ungemein kräftigen Strom, 71

der aber sehr rasch abnimmt, während in den Becquerel'schen Ketten, dem Daniel'schen, dem Grove'schen und Bunsen'schen Apparate der Strom mit unveränderter Stärke fortdauert. Jetzt, wo wir die chemischen Erscheinungen in der Kette kennen gelernt haben, können wir uns auch davon Rechenschaft geben, warum in diesen Apparaten der Strom constant bleibt, in jenen aber so rasch abnimmt.

In ein Gefäß, Fig. 142, welches mit einer Lösung von Zinkvitriol gefüllt ist, werde eine Zink- und eine Kupferplatte eingetaucht, welche oben durch einen Kupferdraht verbunden sind. Auch hier wird anfangs ein ziemlich kräftiger Strom entstehen, der bald abnimmt und endlich ganz aufhört. Der Grund dieses Aufhörens ergiebt sich bald, wenn man den Vorgang der Zersetzung betrachtet; das Zinkoxyd der Lösung wird nämlich zersetzt, der Sauerstoff geht an die Zinkplatte, um neues Oxyd zu bilden, während auf der andern Seite sich metallisches Zink auf der Kupferplatte absetzt; nach einiger Zeit hat sich die Kupferplatte ganz mit Zink überzogen, und nun hört der Strom begreiflicher Weise ganz auf. Das Kupfer ist jetzt gar nicht mehr mit der Flüssigkeit in Berührung, Zink aber befindet sich auf beiden Seiten des Kupfers und auf beiden Seiten der Flüssigkeit; das Kupfer wird da, wo es an die Zinkplatte angelöthet ist, negativ erregt, diese Erregung aber kann keinen Strom veranlassen, weil der neu entstandene Zinküberzug einen ganz gleichen entgegengesetzten Strom erregt.

Fig. 142.

Zink Kupfer

Nehmen wir nun verdünnte Schwefelsäure statt der Lösung des Zinkoxyds, so wird das Wasser der sich zwischen der Zink- und Kupferplatte befindlichen Flüssigkeit zersetzt; statt daß sich im vorigen Falle Zink an der Kupferplatte absetzte, wird nun hier Wasserstoffgas frei, die Kupferplatte überzieht sich mit einer Schicht von Wasserstoff, welcher aber mit dem Kupfer nicht in so innige Berührung kommt wie im vorigen Falle, und also auch die Flüssigkeit nicht so vollständig von der Berührung mit der Kupferplatte abhalten kann, wie es dort der Fall war. Ein gänzliches Aufhören des Stromes ist also hier nicht möglich, dennoch aber veranlaßt diese Abscheidung des Wasserstoffs, welcher nach Buff's Versuchen (Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLI. S. 137) in der Spannungsreihe noch unter dem Zinke steht, in ganz ähnlicher Weise eine Schwächung des Stromes, wie es dort die Ablagerung des Zinks gethan hatte.

Ist somit die Ursache richtig erkannt, welche die Schwächung des Stromes in gewöhnlichen Ketten veranlaßt, so ergiebt sich leicht, wie eine solche Schwächung vermieden werden kann; man hat nämlich nur eine Vorrich-

tung zu treffen, durch welche die Abscheidung des Wasserstoffs an den Kupfer- oder Platinplatten verhindert wird, so daß diese Platten stets in derselben Weise mit der Flüssigkeit in Berührung bleiben.

In der Becquerel'schen und Daniel'schen Kette setzt sich nicht Wasserstoff, sondern metallisches Kupfer an die Kupferplatte an, und somit bleibt stets eine reine Kupferoberfläche mit der Flüssigkeit in Berührung. In der Grove'schen Batterie aber ist das Platin, in der Bunsen'schen die Kohle von einer Schicht von Salpetersäure umgeben, diese Salpetersäure aber verhindert die Abscheidung des Wasserstoffs am Platin oder der Kohle, denn die ausgeschiedenen Wasserstofftheilchen werden im Momente ihres Entstehens auch sogleich wieder oxydirt, indem sich salpetrige Säure bildet.

72

Es ist wohl hier der passendste Ort, Einiges über die verschiedenen Theorien zu sagen, welche man zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen der Säule aufgestellt hat, da diese Theorien gerade jetzt den Gegenstand lebhafter Erörterungen zwischen den verschiedenen Gelehrten bilden.

Die älteste Theorie ist die von Volta aufgestellte Contacttheorie, nach welcher die Berührung verschiedenartiger Metalle die einzige Quelle der Elektricität der Säule ist. Volta hatte vorzugsweise die Spannungswirkungen der Säule studirt, und diese finden auch durch seine Theorie die befriedigendste Erklärung. Die chemischen Erscheinungen ließ er unberücksichtigt, ohne Zweifel, weil er sie entweder gar nicht oder doch nur höchst unvollständig kannte; daher kam es auch, daß er die Rolle, welche die Flüssigkeiten in der Kette spielen, nicht gehörig würdigte, daß er sie einfach nur als Leiter und nicht zugleich auch als Elektromotoren betrachtete.

Nachdem nun die chemischen Wirkungen der Säule bekannt und genauer untersucht worden waren, konnte die Volta'sche Contacttheorie nicht mehr genügen, sie mußte also entweder berichtigt und erweitert werden, um auch die neu entdeckten Thatsachen zu umfassen, oder man mußte sie ganz verlassen und eine ganz neue Hypothese aufstellen. Beide Wege sind verfolgt worden, und zwar beide von ausgezeichneten Physikern. Als Anhänger der mehr oder minder modificirten Contacttheorie sind besonders Pfaff, Fechner, Poggendorff und Buff zu nennen.

Die Gegner der Contacttheorie betrachten die chemische Wirkung, welche die Flüssigkeit auf die Metalle ausübt, als die Quelle des elektrischen Stromes der Kette; Anhänger dieser Meinung sind besonders Fabroni, Parrot, Wollaston, Faraday und De la Rive; doch weichen die Ansichten dieser Gelehrten unter sich wieder in manchen Punkten ab.

Durch seine theoretischen Ansichten wurde Faraday auch veranlaßt, eine neue Nomenclatur einzuführen; so nannte er die Pole »Elektroden«, Wege, auf welchen der elektrische Strom in die zu zerlegende Flüssigkeit

eintritt, und zwar nannte er den positiven Pol Anode, den negativen Kathode. Die Bestandtheile des Elektrolyts heißen nach Faraday »Jonen«, und zwar ist das Kation dasjenige Element, welches an der Kathode, Anion dagegen dasjenige, welches an der Anode ausgeschieden wird.

Es kann nicht überraschend erscheinen, daß eine solche Meinungsverschiedenheit über die Quelle der Elektricität der Kette herrscht, wenn man bedenkt, wie wenig uns von dem eigentlichen Wesen der Elektricität bekannt ist. Wissen wir doch auch über die Entstehung der Elektricität durch Reibung kaum etwas mehr als die einfache Thatsache! Daß in Beziehung auf den Galvanismus eine Meinungsverschiedenheit entstehen konnte, liegt offenbar darin, daß Volta den Einfluß des Chemismus übersehen hatte. Dieser Mangel oder vielmehr diese Einseitigkeit konnte nicht lange unbemerkt bleiben; indem aber viele Gelehrte sich bemühten, die Wichtigkeit dieses Einflusses nachzuweisen, verfielen sie zum Theil in das entgegengesetzte Extrem, sie schrieben dem Chemismus Alles zu, sie berücksichtigten die wohlerwiesenen Thatsachen, welche die Basis der Contacttheorie ausmachen, gar nicht mehr, ja einige ließen sich sogar verleiten, die Volta'schen Fundamentalversuche in Zweifel zu ziehen oder, um sie zu erklären, die Oxydirbarkeit der edlen Metalle zu Hülfe zu nehmen.

Die Anhänger der beiden Ansichten waren eifrigst bemüht, Beweise für die Richtigkeit ihrer Meinung beizubringen, und diesen Bemühungen verdanken wir großentheils die vielfachen Erweiterungen, welche die Lehre vom Galvanismus erfahren hat. Vor Allen gebührt Fechner das Verdienst, daß er die Richtigkeit der Volta'schen Fundamentalversuche über jeden Zweifel erhoben und die Ansichten über die Elektricitätserregung verschiedener Metalle berichtigt hat. Faraday dagegen hat nachgewiesen, daß galvanische Ströme auch ohne Berührung heterogener Metalle entstehen können, daß die chemische Zersetzung der Flüssigkeit der Säule der Quantität des elektrischen Stromes proportional ist, daß also diese Zersetzung im innigsten Zusammenhange mit der Bildung des Stromes in der hydro-elektrischen Kette stehe.

Da nun aber eine Theorie des Galvanismus wo möglich alle Erscheinungen der Kette umfassen muß, so möchte die Wahrheit wohl schwerlich bei den Extremen der beiden Parteien zu suchen seyn. Am besten möchte wohl für den jetzigen Standpunkt der Wissenschaft eine modificirte Contacttheorie passen, wie sie oben vorgetragen wurde; denn auf diese Weise lassen sich die verschiedenen Erscheinungen der Kette am besten unter einem gemeinsamen Gesichtspunkte zusammenfassen.

Wenn man die Ansichten der ausgezeichnetsten Gelehrten über diese Frage recht genau mit einander vergleicht, so ergiebt sich auch bald, daß

sie keineswegs so ganz und gar einander entgegengesetzt sind, als manche glauben, wie dies Buff in einem bei Gelegenheit der Naturforscherversammlung zu Mainz gehaltenen Vortrage dargethan hat. Möge es erlaubt seyn, den Schluß dieses unter dem Titel: »Der Zusammenhang der neueren Elektricitätslehre mit der Contacttheorie« gedruckten Vortrags hier wörtlich anzuführen.

»Man ist gewöhnt, die Contacttheorie und die chemisch elektrische Theorie als zwei einander entgegengesetzte Hypothesen zu betrachten, in der Weise, daß wer die eine für richtig erkläre, die andere nothwendig für falsch halten müsse. Man pflegt von den Anhängern der einen und der andern Ansicht wie von entschieden wissenschaftlichen Gegnern zu sprechen.

»Diese Vorstellung ist jedenfalls nicht in dem Wesen beider Theorien begründet.

»Die Grundlage der chemisch-elektrischen Theorie, und ich verstehe hierunter hauptsächlich die neuere, von den englischen Naturforschern ausgebildete Hypothese, bildet bekanntlich die Annahme, daß Chemismus und Elektricität nur verschiedene Aeußerungen derselben Ursache, wo nicht ganz und gar identisch seyen; daß die gegenseitigen Verwandtschaften zweier Elemente, die eine chemische Verbindung eingehen können, ein ähnlicher polarer Gegensatz seyen, wie die positive und negative Elektricität; und daß daher beide Gegensätze, wenn sie gleichgerichtet sind, einander unterstützen, oder, wenn ihre Richtungen entgegengesetzt sind, einander ganz oder theilweise aufheben können.

»Die beginnende Zersetzung einer flüssigen Verbindung ist nach dieser Hypothese eine Quelle der Elektricität. Der elektrische Strom ist aber das Fortschreiten dieser Zersetzung nach einer bestimmten Richtung.

»Jedoch schon das bloße Streben eines Metalles, eine flüssige Verbindung zu zersetzen, wodurch den Bestandtheilen derselben, bereits vor dem wirklichen Eintritte der Zersetzung, eine bestimmte Richtung ertheilt wird, veranlaßt die Entstehung eines elektrischen Stromes; freilich eines Stromes von geringer Stärke, der überdies, indem er nur die Folge ist einer veränderten Anordnung in der Lage der Partikeln, aufhören muß, so wie diese Anordnung bewerkstelligt ist. Ein dauernder Strom ist also ohne Zersetzung unmöglich.

»Dies sind die Hauptgrundzüge der chemisch-elektrischen Theorie, als deren Schöpfer man Faraday betrachten muß.

»Das Verhalten der nicht activen Volta'schen Paare und der elektrischen Säule, die Spannungswirkungen werden in dieser Theorie gar nicht, oder doch nur höchst dürftig berücksichtigt.

»Es kann gegenwärtig nicht mehr bezweifelt werden, daß die Fortdauer hydro-elektrischer Ströme geknüpft ist an die elektrisch-chemische Zersetzung

der Flüssigkeit; diese Frage ist entschieden, seitdem man weiß, daß die Größe der Zersetzung ein Maaß ist für die Quantität fortdauernder Ströme. Die chemische Zersetzung kann gleichwohl nicht der letzte Grund des Stromes seyn, weil ja der Zersetzung selbst eine Ursache vorhergehen muß, eine Kraft, wodurch sie eingeleitet wird. Eine solche Ursache kann aber die Anziehung seyn, welche die Metallplatte auf den einen der Bestandtheile der Flüssigkeit ausübt; eine Action, wodurch, wie sich Faraday ausdrückt, den Atomen der Flüssigkeit Richtung verliehen und wodurch allein schon ein freilich nur vorübergehender Strom bewirkt wird.

»Der Gründer der neueren chemisch-elektrischen Theorie nennt diese Action eine chemische; aber er sagt auch, daß chemische und elektrische Anziehung gleichbedeutend oder doch so nahe verwandt sind, daß sie sich wechselseitig unterstützen und aufheben können.

»Volta selbst, wäre er mit den neueren Forschungen bekannt gewesen, würde nie den Einfluß geläugnet haben, welchen die gegenseitige chemische Action des Zinks und des Sauerstoffs des Wassers auf Richtung und Größe des Stromes äußern. Dieser Einfluß ist eine wohl erwiesene Thatsache, aber eine Thatsache, die sich ganz gut verträgt mit der eben so unläugbaren Erscheinung, daß das Streben des Zinks, Zersetzung zu bewirken, von einer elektrischen Differenz an der Contactstelle begleitet ist, daß diese Differenz gesteigert werden kann durch die aus dem Contacte des Zinks mit Platin resultirende und gleichgerichtete elektrische Differenz, und daß mit dieser vermehrten elektrischen Anziehung zugleich auch das Streben der Metalle, die Flüssigkeit zu zersetzen, verstärkt wird.

»Nach der chemisch-elektrischen Theorie ist der Strom ein Zustand des gestörten chemischen Gleichgewichtes, nach der Contacttheorie dagegen ein Zustand des gestörten elektrischen Gleichgewichtes. Und hierin liegt in der That der einzige wesentliche Unterschied beider Theorien, der also nur auf eine Verschiedenheit in der Form des Ausdrucks hinausläuft. Diese Verschiedenheit ist gleichwohl nicht unbedeutend, sie gewährt der Contacttheorie den Vorzug, die statischen, wie die Bewegungsphänomene der Hydrokette mit gleicher Leichtigkeit zu umfassen.

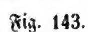
73 **Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes.** Schon lange wußte man, daß unter Umständen kräftige elektrische Ladungen die Magnetnadel afficiren können; man hatte z. B. beobachtet, daß die Compaßnadeln auf Schiffen, welche vom Blitze getroffen worden waren, ihre Eigenschaft verloren, den Weg des Fahrzeugs zu bezeichnen; mehrere Physiker, unter denen Franklin, Beccaria, Wilson und Cavallo zu nennen sind, versuchten solche Erscheinungen durch die Entladung von Leidner Flaschen hervorzubringen, und in der That war es ihnen auch gelungen, den magnetischen Zustand sehr kleiner Nadeln zu verändern,

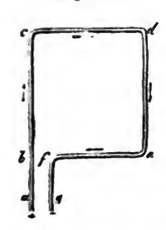
entweder indem sie den Funken in der Nähe der Nadel überschlagen, oder indem sie den Entladungsschlag durch die Nadel selbst gehen ließen. Alle diese Versuche aber gaben keine regelmäßigen Resultate, und man begnügte sich mit der Annahme, der elektrische Schlag wirke auf die Magnetnadel ungefähr so wie der Schlag eines Hammers. Später machte man neue Versuche mit der galvanischen Elektricität, welche eben so wenig zu einem Resultate führten. Im Jahre 1820 endlich fand Oersted, Professor in Kopenhagen, ein Mittel, die Elektricität sicher und beständig auf einen Magneten einwirken zu lassen. Er eröffnete dadurch den Gelehrten aller Länder ein neues weites Feld der Forschung, und nie vielleicht sah man in kurzer Zeit die Wissenschaft mit so viel neuen Wahrheiten bereichert.

Damit die Elektricität auf den Magnetismus wirke, muß sie im Zustande der Bewegung seyn. Die ruhende Elektricität im Zustande starker Spannung wirkt nicht auf den Magneten, wohl aber ein continuirlicher elektrischer Strom.

In der That, wenn man dem Schließungsdrahte einer Säule, während der elektrische Strom hindurchgeht, eine frei aufgehängte Magnetnadel nähert, so wird sie abgelenkt. Dies war der erste Versuch Oersted's, und es ist in der That zu bewundern, daß bei den vielen Versuchen, die man mit der Säule anstellte, nicht schon längst zufällig eine Beobachtung dieser Art gemacht worden war.

Den Fundamentalversuch über die Einwirkung eines galvanischen Stroms auf die Nadel kann man auf folgende Weise anstellen: ein etwas starker Kupferdraht wird so gebogen, daß er ein Quadrat bildet, dessen Seite etwa 8 bis 10 Zoll lang seyn kann; die beiden Enden des Drahtes *a b* und *f g*, Fig. 143, tauche man nun in die Quecksilbernäpfchen einer galvanischen Batterie von großer Oberfläche, etwa in die Näpfchen des Apparates Fig. 127, oder verbinde sie mit den Polen des Bunsen'schen Apparates, und befestige sie auf irgend eine Art so, daß die Ebene des Quadrats in die Ebene des magnetischen Meridians fällt. Nehmen wir an, das Drahtende *a b* sey in das positive Quecksilbernäpfchen getaucht, so circulirt der Strom in der Weise, wie es die Pfeile andeuten. Von *b* bis *c* steigt er auf, von *c* bis *d* läuft er horizontal in der Richtung von Süden nach Norden im magnetischen Meridian fort, von *d* bis *e* steigt er nieder und bewegt sich endlich wieder in horizontaler Linie von Norden nach Süden in dem Drahtstücke *e f*.


Fig. 143.



Hält man nun eine Magnetnadel gerade über das Drahtstück *c d*, so würde sie, wenn keine Einwirkung des Stroms auf die Nadel stattfände, mit dem Drahte *c d* parallel bleiben, der Strom aber lenkt die Nadel

ab und zwar so, daß der Südpol (d. h. der nach Norden gerichtete) östlich vom magnetischen Meridian zu liegen kommt. Hält man aber die Nadel unter das Drahtstück *c d*, so wird das nach Norden gekehrte Ende der Nadel nach Westen abgelenkt.

Am Drahtstücke *e f*, in welchem sich der Strom in einer Richtung bewegt, welche mit der des Stroms in *c d* parallel aber entgegengesetzt ist, findet die umgekehrte Wirkung Statt; wenn die Nadel nämlich gerade über *e f* gehalten wird, findet eine westliche, wenn sie darunter gehalten wird, eine östliche Ablenkung der Nadel Statt.

In den ersten Zeiten fand man große Schwierigkeiten darin, mit wenig Worten die Beziehungen zwischen der Richtung des Stroms und der Richtung der Ablenkung auszudrücken; diese Schwierigkeiten hat Ampère auf eine recht sinnreiche Weise gelös't; er hat folgende Regel angegeben, um jederzeit die Richtung der Ablenkung zu bestimmen. Man denke sich in den Draht eine kleine menschliche Figur so eingeschaltet, daß der positive Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt; wenn nun diese Figur ihr Gesicht der Nadel zukehrt, so ist der Südpol der Nadel (das Nordende) immer nach der linken Seite hin abgelenkt.

In dem Drahtstücke *c d* liegt die Figur wagerecht, den Kopf nach Norden, die Füße nach Süden gekehrt. Wird die Nadel über den Draht gehalten, so muß die Figur auf dem Rücken liegen, wenn ihr Gesicht der Nadel zugekehrt seyn soll, bei dieser Lage der Figur ist ihre linke Seite die östliche. Wird die Nadel unter den Draht gehalten, so muß die Figur das Gesicht nach unten kehren und nun wird ihre linke Seite die westliche.

Fig. 144.

Für das Drahtstück *e f* sind die Füße der Figur nach Norden, der Kopf nach Süden gekehrt; wenn die Figur auf dem Rücken liegt, ist also die linke Seite die westliche, wenn sie auf dem Leibe liegt, die östliche.

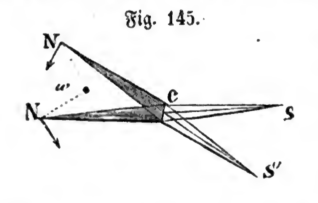
Wenn ein in der Richtung des magnetischen Meridians sich bewegender horizontaler Strom allein auf die Nadel wirkte, so würde sie sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellen; außer dem Strome wirkt aber auch noch der Erdmagnetismus, der die Nadel in den Meridian zurückzudrehen strebt. Unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, sie wird mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel machen, der um so größer wird, sich also einem rechten um so mehr nähert, je größer die Stromkraft im Vergleiche zur magnetischen Erdkraft ist.

Auch der vertikal gerichtete Strom in *b c* und *d e* wirkt ablenkend

auf die Nadel, und zwar findet man die Richtung der Ablenkung ebenfalls nach der Ampère'schen Regel. Man denke sich nur die vertikal stehende Figur dem Nordende zugewendet, so muß sich dieses Nordende nach der Linken drehen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, daß für einen aufsteigenden Strom die Figur auf den Füßen, für einen niedergehenden auf dem Kopfe steht.

Aus dieser Ampère'schen Regel folgt, daß ein und derselbe vertikale Strom das Nordende einer Nadel bald anzieht, bald abstößt, je nachdem dieser Pol sich auf der einen oder andern Seite des Drahtes befindet. In Fig. 145 stelle $N\ S$ eine horizontale Nadel, von oben gesehen, dar,

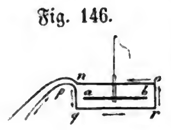
Fig. 145.



N sey das Nordende der Nadel, w sey ein vertikaler Draht, der natürlich, von oben gesehen, als Punkt verkürzt erscheint. Geht nun ein positiver Strom von unten nach oben durch den Draht, so hat man sich die Figur aufrecht zu denken; wenn aber diese aufrechte Figur nach N hinschaut und der Pol N in Beziehung auf diese Figur nach der Linken gedreht wird, also so wie es der Pfeil andeutet, so wird die Nadel offenbar von dem Drahte abgestoßen. Befände sich aber die Nadel in $N'\ S'$, so würde die Nadel offenbar von dem Drahte angezogen.

Der Multiplicator oder das Galvanometer. Kurz nachdem Oersted seine wichtige Entdeckung gemacht hatte, construirte Schweigger seinen Multiplicator, welcher zum Zwecke hat, die elektromagnetische Wirkung des Stromes zu verstärken. Dieses Instrument ist wirklich so empfindlich, daß es dienen kann, um die schwächsten elektrischen Ströme zu entdecken. In der That wirken alle Theile des Stromes, welcher in der Richtung der Pfeile das längliche Rechteck $p\,q\,r\,o\,n$, Fig. 146, durchläuft, auf 74

Fig. 146.



dieselbe Weise auf die Nadel $a\ b$, welche in horizontaler Ebene drehbar ist. Wenn a das Südende, b das Nordende ist, so hat der Strom an allen Punkten ein Bestreben, die Nadel so zu drehen, daß b vor die Ebene der Figur hervor-, a aber zurücktritt. Das untere Drahtstück unterstützt also die Wirkung des obern, ebenso wie der Strom in den Stücken $p\ q$ und $r\ o$. Ein zweiter Strom von derselben Stärke, der sich in derselben Richtung um die Nadel bewegt, wird eine eben so große Wirkung hervorbringen, wie der erste, ebenso ein dritter, vierter u. s. w. Ein Draht also, wenn er in 100 Windungen um die Nadel herumgeht,

die alle von demselben Strom durchlaufen werden, muß eine 100fach größere Wirkung hervorbringen als eine einzige Windung; der Strom darf sich jedoch nicht seitwärts von einer Windung zur andern fortpflanzen, sondern er muß den ganzen Draht der Länge nach durchlaufen, so daß er wirklich wiederholt um die Nadel herumgeführt wird. Um dies zu erreichen, nimmt man einen Kupferdraht von 15 bis 20 Meter Länge, der mit Seide dicht übersponnen ist; dieser Draht wird dann auf einen rechtwinkligen Rahmen von Holz oder Metall aufgewunden. Die beiden Enden des Multiplicatordrahtes bleiben frei, damit man sie mit den Polen der galvanischen Kette in Verbindung bringen kann. Die Nadel wird an einem Conconfaden aufgehängt und der ganze Apparat durch eine Glasglocke vor dem Luftzug geschützt. Wenn man einen Versuch machen will, so richtet man den Rahmen so, daß die Ebene der Windungen mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, die Nadel befindet sich dann ebenfalls in der Ebene der Windungen, so lange kein Strom hindurchgeht; sobald dies aber der Fall ist, wird die Nadel um so mehr abgelenkt, je stärker der Strom ist.

Dieser Multiplicator ist schon sehr empfindlich, Nobili aber hat ihn noch ungleich empfindlicher gemacht, indem er statt einer Nadel ein System vom zweien anwandte, deren Pole entgegengesetzt gerichtet sind, wie man dies Fig 147 und deutlicher Fig. 148 sieht. Bei einem solchen System von zwei Nadeln ist die richtende Kraft des Erdmagnetismus außerordentlich gering, denn sie ist nur die Differenz der Kräfte, mit welcher der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten strebt. Wären beide Nadeln absolut gleich und vollkommen gleich stark magnetisirt, so würde die richtende Kraft, welche die Erde auf das System ausübt, gleich Null seyn. Die eine der Nadeln hängt nun innerhalb, die andere über den Windungen, beide werden also durch den Strom nach derselben Seite gedreht. Ein solcher Apparat ist ungemein empfindlich.

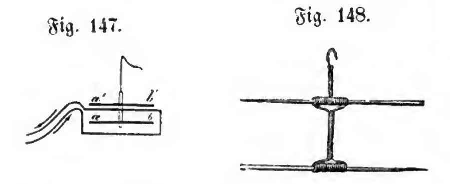


Fig. 147. Fig. 148.

Um die Nadeln auf eine feste Weise zu verbinden, steckt man entweder beide durch einen recht geraden Strohhalm oder man befestigt sie an einem ganz dünnen Draht, wie Fig. 148 zeigt.

Die obere Nadel bewegt sich über einem in 360 Grad getheilten Kreise. Die Linie, welche 0 und 180° verbindet, wird in den magnetischen Meridian eingestellt; wenn nun kein Strom durch die Windungen hindurchgeht, so zeigt

die Nadel auf 0°. Mit wachsender Stromstärke wird die Ablenkung der Nadel bedeutender, jedoch ist die Stromstärke nicht dem Ablenkungswinkel proportional.

Fig. 149.

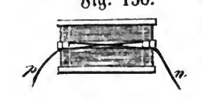


Fig. 150.

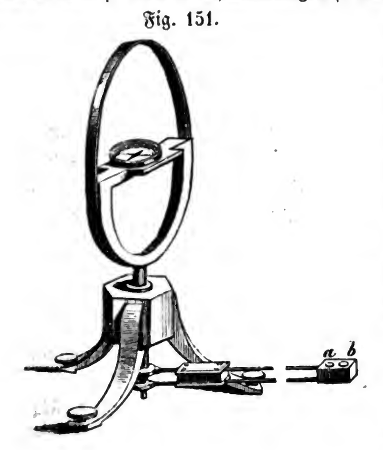
Die Richtung der Abweichung der Nadel bestimmt die Richtung des Stromes.

Fig. 149 zeigt ein vollständiges Galvanometer und Fig. 150 zeigt den Rahmen mit den Drahtwindungen von oben gesehen.

Der Ausschlagswinkel wird bei diesen Instrumenten natürlich um so größer, je stärker der Strom ist, doch ist das Verhältniß zwischen dem Ausschlagswinkel und der Stromstärke ein sehr complicirtes, welches nicht aus theoretischen Betrachtungen, sondern nur durch Versuche ermittelt werden kann. Namentlich hat Poggendorff ein sehr sinnreiches Verfahren angegeben, um das Galvanometer zu genaueren Messungen anwendbar zu machen, doch können wir hier nicht weiter in's Detail eingehen.

75 **Die Tangenten- und die Sinusboussole.** Wenn man es mit stärkeren Strömen zu thun hat, so ist es nicht nöthig, eine astatische Nadel anzuwenden und so viele Drahtwindungen so nahe um die Nadel herumzuführen; dadurch aber ist es möglich, Instrumente zu construiren, bei welchen der Ablenkungswinkel in einem einfachen Verhältniß zu der Stromstärke steht. Fig. 151 stellt einen Apparat dar, in welchem der Strom durch einen kreisförmigen Kupferstreifen um die Nadel herumgeleitet wird, welche sich in der Mitte dieses Kreises befindet und sehr klein gegen seinen Durchmesser ist. Ohne vor der Hand die Einrichtung des Apparates näher zu betrachten, wollen wir untersuchen, welche Beziehung zwischen der Stromstärke und dem Ablen-

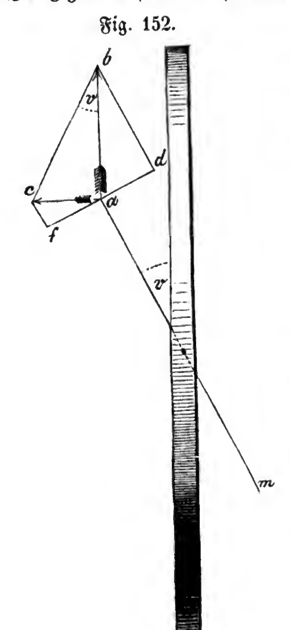
Fig. 151.



kungswinkel besteht, wenn die Ebene des Kupferrings mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt.

In Fig. 152 stelle der schattirte Streifen den Ring von oben gesehen, $a\,b$ die durch den Strom abgelenkte Nadel dar, welche hier freilich etwas zu groß gezeichnet ist, um die Figur nicht undeutlich zu machen. Wenn die Nadel klein ist gegen den Durchmesser des Kreises, so ist die Spitze der abgelenkten Nadel nicht merklich weiter vom Kupferring entfernt, als wenn sie gar nicht abgelenkt wäre, man kann also diese Zunahme der Entfernung ganz unberücksichtigt lassen.

Fig. 152.



Es greifen nun aber an der Spitze der Nadel zwei Kräfte an, die magnetische Erdkraft $a\,b$, in der Richtung des Meridians wirkend, strebt die Nadel in die Ebene des Ringes zurückzuführen, der Strom aber hat ein Bestreben, die Nadel rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, er wirkt in der Richtung $a\,c$ auf die Spitze der Nadel. Die rechtwinklig auf die Richtung der Nadel wirkenden Seitenkräfte von $a\,b$ und $a\,c$ sind nun $a\,d$ und $a\,f$, die Nadel wird in Ruhe seyn, wenn $a\,d = a\,f$.

Nehmen wir an, die Nadel habe sich in dieser Gleichgewichtslage eingestellt, so besteht nun zwischen der magnetischen Erdkraft $a\,b$, die wir mit R, und der Stromkraft $a\,c$, die wir mit S bezeichnen wollen, ein einfaches Verhältniß, welches sich aus der Betrachtung des Dreiecks $a\,b\,c$ ergiebt, es ist nämlich

$$S = R.\ tang.\ v,$$

wenn man mit v den Winkel $a\,b\,c$ bezeichnet. Dieser Winkel ist aber dem Ablenkungswinkel der Nadel gleich, bei einem solchen Instrumente ist also die Stromkraft der Tangente des Ablenkungwinkels proportional, daher der Namen Tangentenboussole.

Man hat Tangentenboussolen von mancherlei Formen construirt; Fig. 151 stellt eine solche nach W. Weber's Angaben ausgeführte dar. Der Strom circulirt in einem breiten kreisförmigen Kupfer- oder Messingstreifen, in dessen Mitte sich die Nadel befindet. Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Ebene

dieses Ringes in dem magnetischen Meridian liegt. Die Zuleitung des Stroms geschieht durch einen kupfernen Stab, die Ableitung durch eine Röhre, welche jenen Stab umgiebt, ohne jedoch mit ihm in leitender Verbindung zu stehen, wie man Fig. 153 bis Fig. 155 deutlicher sieht. *a* und *b*, Fig. 151, sind Quecksilbernäpfchen, in welche die Polardrähte der Kette eingetaucht werden.

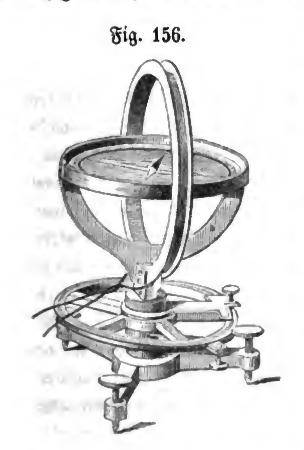
Fig. 153. Fig. 154. Fig. 155.



Die Länge der Nadel darf höchstens $1/4$ oder $1/5$ des Ringdurchmessers betragen; je kleiner sie im Vergleich zu diesem ist, desto genauer ist die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Je kleiner aber die Nadel wird, desto kleiner wird auch die Theilung, auf welcher man die Ablenkung abliest, wenn der Radius des getheilten Kreises der halben Länge der Nadel gleich ist. Um aber, wenn große Genauigkeit gefordert wird, eine kleine Nadel mit einem großen Theilkreise zu verbinden, befestigt man die kleine Magnetnadel auf einer langen, sehr leichten Kupfernadel, deren Enden sich an der Theilung herbewegen.

Die Fig. 156 stellt eine Sinusboussole dar. Die Magnetnadel befindet sich in der Mitte eines horizontalen getheilten Kreises, der um eine vertikale Axe drehbar ist. Um diesen Kreis ist der Multiplicatordraht gewunden. Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Ebene der Drahtwindungen in den magnetischen Meridian fällt, und in diesem Falle steht der Index des horizontalen Kreises, auf welchem die Drehung des vertikalen Kreises abgelesen wird, auf Null. Wenn nun ein Strom durch die Windungen geht, wird die Nadel abgelenkt, der vertikale Kreis mit den Windungen wird aber nun auch in der Richtung dieser Ablenkung so weit gedreht, bis die Nadel wieder in der Ebene der Windungen liegt, und dann die Größe der Ablenkung an dem untern horizontalen Kreise abgelesen.

Fig. 156.



Gesetzt, man habe mit dem Strom einer hydro-elektrischen Kette eine Ab-

lenkung von 30° erhalten, mit einer andern nur 20°, so ist es leicht das Verhältniß der Stärke beider Ströme zu berechnen; denn da in beiden Fällen der Strom ganz gleiche Lage gegen die Nadel hat, so verhalten sich die Stromstärken offenbar wie die Kräfte, die in beiden Fällen die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben. Diese Kraft ist aber im ersten Falle *R. sin.* 30°, im zweiten *R. sin.* 20°, die Stromstärken verhalten sich also wie die Sinus der Ablenkungswinkel, daher auch der Namen Sinusboussole.

Es ist klar, daß die Stärke des Magnetismus der Nadel keinen Einfluß auf die Größe der Ablenkung hat, denn wenn die Nadel stärker magnetisch wäre, so würde die Einwirkung des Stroms und die des Erdmagnetismus auf die Nadel in gleichem Verhältniß zunehmen.

Für den Fig. 156 abgebildeten Apparat beträgt der Durchmesser des vertikalen Kreises 22 Centimeter. Man kann, je nachdem es die Umstände erfordern, eine oder mehrere Windungen des Drahtes um den vertikalen Kreis herum legen.

Poggendorff hat die Sinusboussole wesentlich verbessert, namentlich dadurch, daß er die Nadel an einem Coconfaden aufgehängt hat.

Auch an Multiplicatoren von der in Fig. 149 dargestellten Art hat man die Einrichtung angebracht, daß man die Drahtwindungen um eine vertikale Axe umdrehen kann, so daß es möglich ist, sie stets mit der Nadel parallel zu stellen.

Nachdem wir die Mittel kennen gelernt haben, die Stromstärke zu messen, wollen wir die Gesetze derselben näher betrachten.

76 **Kraft der galvanischen Kette.** Das Agens, welches in den Phänomenen des Galvanismus wirkt, ist durchaus nichts anders als die Elektricität, welche uns auch die Elektrisirmaschine und das Elektrophor liefert; nur ist hier die Elektricität in Bewegung, dort in Ruhe; hier beobachten wir Bewegungserscheinungen, dort die Phänomene des Drucks; hier haben wir eine reiche, dort eine verhältnißmäßig arme Quelle von Elektricität.

Ein Bild kann vielleicht das wahre Sachverhältniß recht klar machen. Wir können die Elektrisirmaschine einer Quelle vergleichen, welche nur spärlich Wasser giebt, aber hoch auf einem Berge liegt. Man kann das Wasser in einer engen Röhrenleitung sammeln, welche bis in das Thal hinabgeht und unten verschlossen ist. Die Wände dieser Röhrenleitung haben natürlich einen starken Druck auszuhalten, namentlich am untern Ende, obgleich die Wassermasse in der Röhrenleitung so groß nicht ist. Am untern Ende der Röhrenleitung befinde sich nun eine Oeffnung, die durch ein Ventil verschlossen ist, welches durch eine Feder oder durch ein Gewicht auf die Oeffnung gepreßt ist, wodurch sie verschlossen gehalten wird. Je mehr aber die Wassersäule in der Röhre steigt, desto stärker wird der Druck;

endlich reicht der äußere Gegendruck nicht mehr hin, Widerstand zu leisten, das Ventil wird geöffnet und mit Gewalt strömt das Wasser hervor; dabei aber sinkt rasch das Niveau in der Röhre; der äußere Druck gewinnt wieder das Uebergewicht und schließt die Oeffnung. Allmählig füllt sich die Röhre wieder und nach einiger Zeit ist das Wasser wieder so hoch gestiegen, daß es von Neuem das Ventil öffnet.

Bei der Elektrisirmaschine ist der Conductor das Gefäß, die Röhrenleitung, in welcher die Elektricität angehäuft wird. Nähert man dem einen Ende des Conductors einen Leiter, etwa den Knöchel eines Fingers, so wird hier die größte Anhäufung von Elektricität stattfinden; sie hat ein Bestreben, auf den Finger überzuspringen, allein die Luftschicht, welche sich zwischen dem Conductor und der Hand befindet, hindert diesen Uebergang, sie repräsentirt das Gewicht, welches das Ventil geschlossen hält. Erst wenn auf dem Conductor die Elektricität bis zu einem gewissen Grad angehäuft ist, wird der Widerstand überwunden, die Luftschicht durchbrochen, der Conductor wird theilweise entladen. Nähert man den Finger dem Conductor noch mehr, so wird der Widerstand, welcher sich dem Uebergang der Elektricität entgegensetzt, geringer, was einer Verringerung des Drucks entspricht, welcher das Ventil der Röhrenleitung geschlossen hält.

Hätte man die Oeffnung am untern Ende der Röhrenleitung nicht durch das Ventil geschlossen, so würde das Wasser in dem Maaße ausgeflossen seyn, als es durch die Quelle geliefert wird, eine Anhäufung des Wassers und mit ihr jener Druck, den die Wände auszuhalten hatten, hört auf. Weil aber die Quelle nur wenig Wasser giebt, so wird es auch nur spärlich aus jener Oeffnung herausfließen; das Wasser, welches, in der Röhre angehäuft, so ungeheuern Druck ausüben könnte, wird nun, da es frei abfließen kann, kaum einen merklichen mechanischen Effect hervorbringen können.

Diesem freien Abfließen des Wassers einer armen Quelle entspricht der Fall, daß man den Conductor der Maschine mit dem Boden oder dem Reibzeug in leitende Verbindung setzt. Alle Spannung, alle Anhäufung der Elektricität auf den Conductor hört auf; der dünnste Draht ist schon im Stande, alle Elektricität vom Conductor vollständig abzuleiten, und diese frei abströmende Elektricität kann kaum Spuren der mächtigen Wirkungen hervorbringen, welche wir an galvanischen Apparaten beobachten.

Die galvanischen Apparate gleichen einer sehr reichen Quelle, die aber nur ein geringes Gefälle hat und deren Wasser in weiten Röhren frei abfließt. Die große Masse des strömenden Wassers übt nur einen geringen Druck auf die Röhrenwände aus, aber sie ist im Stande, mechanische Effecte hervorzubringen, Räder zu treiben u. s. w.

Wenn man eine große Leidner Flasche durch einen dünnen Draht entladet, so wird dieser, wie wir gesehen haben, glühend, weil eine ziemlich große Elektricitätsmenge auf einmal durch ihn hindurchgeht. Die Wirkung ist aber nur momentan; in einem Augenblick geht alle Elektricität, welche man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche angehäuft hatte, durch den dünnen Draht hindurch. Ganz anders verhält es sich, wenn man die beiden Pole eines großplattigen galvanischen Apparats durch einen dünnen kurzen Draht verbindet. Der Draht wird glühend, selbst, wenn er bei weitem dicker ist, als der Draht, den man durch den Entladungsschlag der Leidner Flasche in's Glühen bringt; das Glühen ist aber hier nicht momentan, es dauert fort, so lange der Strom durch den Draht hindurchgeht; in jedem Augenblick liefert also der galvanische Apparat ungleich mehr Elektricität als man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche anhäufen konnte.

Untersuchen wir nun, von welchen Umständen die Quantität der Elektricität abhängt, welche ein galvanischer Apparat zu liefern im Stande ist.

Wenn zwei Metalle sich nur in wenigen Punkten berühren, so hat man schon eine reiche Quelle von Elektricität. Wir haben aber gesehen, daß man keinen galvanischen Apparat ohne solche Körper bilden kann, die nicht in die Spannungsreihe gehören. Die galvanischen Ketten sind aus Metallen und Flüssigkeiten construirt. Flüssigkeiten aber sind keine guten Leiter der Elektricität, sie stehen in dieser Hinsicht bei weitem den Metallen nach. Die feuchten Schichten, welche sich zwischen den Metallplatten der Volta'schen Säule befinden, sind nicht im Stande, alle die Elektricität in einer gegebenen Zeit durchzulassen, welche in derselben Zeit durch die elektromotorische Kraft in der Säule möglicher Weise entwickelt werden könnte. Begreiflicher Weise hängt also die Quantität der Elektricität, welche in einem solchen Apparate circuliren kann, von dem Querschnitt der feuchten Schichten ab; der Querschnitt der feuchten Leiter hängt aber in der Volta'schen Säule von der Größe der Plattenpaare ab, man kann also die Quantität der Elektricität durch Vergrößerung der Platten vermehren. Für die Richtigkeit dieses Schlusses werden wir später experimentelle Beweise kennen lernen.

Mit der Vergrößerung der Platten der Volta'schen Säule wächst aber auch die Berührungsfläche zwischen Kupfer und Zink; daß dies jedoch nicht die Ursache der vermehrten Quantität des elektrischen Stromes ist, geht daraus hervor, daß die Fig. 127 und Fig. 129 abgebildeten Apparate, bei welchen der Querschnitt der flüssigen Schicht zwischen Kupfer und Zink sehr groß ist, auch eine bedeutende Quantität von Elektricität liefern, obgleich die beiden Metalle sich nur mit einer verhältnißmäßig kleinen Fläche berühren, nämlich da, wo der Kupferdraht an den Zinkcylinder oder die Zinktafel angelöthet ist.

Alles also, was den Durchgang der Elektricität durch den flüssigen Leiter befördert, hat unmittelbar eine Vermehrung der elektrischen Quantität zur Folge. Je kürzer der Weg ist, welchen die E durch die Flüssigkeit zurückzulegen hat, je dünner also die flüssige Schicht zwischen den Metallplatten ist, desto mehr E kann im Apparat circuliren. Je mehr also die Flüssigkeit leitend ist, je näher sich die Metallplatten in der Flüssigkeit stehen, desto größer ist die elektrische Quantität des Stromes.

Untersuchen wir nun, welchen Einfluß die Zahl der Plattenpaare auf den galvanischen Strom hat. Denken wir uns eine Zinkplatte, auf diese eine feuchte Scheibe und auf diese wieder eine Kupferplatte gelegt, die beiden Metallplatten durch einen Kupferdraht verbunden, so haben wir eine geschlossene einfache galvanische Kette. Der Widerstand, welchen der Strom im feuchten Leiter zu überwinden hat, ist ungleich größer als der Widerstand, welchen der Draht der Circulation des Stromes entgegensetzt; der Apparat kann weit mehr E liefern, als der feuchte Leiter durchläßt. Verdoppeln wir nun die Zahl der Elemente, die oberste Kupferplatte werde wie vorher durch einen Kupferdraht mit der untersten Zinkplatte verbunden, so haben wir nun eine Kette von zwei Elementen. Es ist nun die Frage, ob in dieser Vorrichtung eine größere Quantität von Elektricität circuliren kann als in der oben betrachteten einfachen Kette?

In der einfachen Kette war die Quantität der circulirenden E durch den Widerstand des feuchten Leiters begränzt; dieser Widerstand ist nun durch die zweite feuchte Scheibe verdoppelt, dagegen ist aber auch die Spannung, welche den elektrischen Strom durchtreibt, noch einmal so groß geworden, es wird also in beiden Fällen gleichviel Elektricität circuliren. Die Vermehrung der Plattenpaare trägt bei vollkommener Schließung der Kette nichts zur Vermehrung der Quantität der circulirenden Elektricität bei; bei vollkommener Schließung ist es also ganz gleichgültig, ob man ein oder viele Plattenpaare anwendet. Bei unvollkommener Schließung aber, d. h. wenn ein schlechter Leiter in den Schließungsbogen eingeschaltet wird, muß man vielplattige Ketten anwenden, weil eine größere elektrische Tension nöthig ist, um den Durchgang durch den schlechten Leiter gleichsam zu erzwingen. Die Intensität des galvanischen Stromes ist der Anzahl der Plattenpaare proportional.

Das Ohmische Gesetz. Die eben angedeuteten Beziehungen der Stromstärke zu den Elementen der Kette sind durch Ohm auf streng mathematische Formen zurückgeführt worden. Durch das nach seinem Urheber genannte Ohmische Gesetz, dessen Grundzüge sogleich näher entwickelt werden sollen, ist erst den Untersuchungen über die Stromstärke eine sichere Basis gegeben worden. 77

Damit ein elektrischer Strom durch einen Leiter hindurchgehen könne,

ist es durchaus nöthig, daß die Elektricität an verschiedenen Stellen des Leiters eine ungleiche Spannung habe. Berührt man z. B. den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem Drahte, so strömt die Elektricität nur deshalb durch denselben ab, weil die starke Spannung der Elektricität auf den Conductor dieselbe durch den Draht hindurchtreibt, weil also an dem einen Ende des Drahtes, da nämlich, wo er den Conductor berührt, eine stärkere Anhäufung von Elektricität stattfindet, als am anderen; verbände man zwei gleiche, gleich stark mit derselben Elektricität geladene Conductoren durch einen Draht, so könnte kein Strom entstehen.

Wenn die Volta'sche Säule isolirt ist, so befinden sich die entgegengesetzten Elektricitäten an den Polen in dem Zustand der Spannung, und dieser Zustand kann unmöglich ganz verschwinden, wenn die beiden Pole durch einen Leiter verbunden werden, denn es kann keine positive Elektricität von dem positiven Pole abströmen, wenn hier nicht eine größere Anhäufung dieser Elektricität stattfände; es ist eine gewisse Spannung der Elektricität, gleichsam ein gewisser Druck nöthig, damit eine Bewegung entstehe, damit die Leitungswiderstände in dem Leiter überwunden werden, durch welchen der Strom hindurchgehen soll.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchströmt, hängt also wesentlich von zwei Umständen ab, erstens von dem zu überwindenden Leitungswiderstand und zweitens von der Spannung, dem Druck, welcher die Elektricität durch den Leiter hindurchtreibt; es ist nun leicht einzusehen, daß die Quantität der Elektricität, welche durch einen gegebenen Leiter in einer gegebenen Zeit hindurchgeht, im umgekehrten Verhältniß des Leitungswiderstandes und im geraden Verhältniß der elektrischen Spannung stehen muß, welche den Strom durch den Leiter hindurchtreibt. Die Spannung ist hier gewissermaßen die beschleunigende Kraft.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchströmt, die Stromstärke läßt sich also ausdrücken durch

$$\frac{E}{L}$$

wenn E die elektrische Spannung, welche den Strom erzeugt, und L den zu überwindenden Leitungswiderstand bezeichnet.

Betrachten wir den Strom eines einfachen geschlossenen Volta'schen Elements. Die Spannung, welche den Strom veranlaßt, sey e, der Leitungswiderstand in der Kette selbst sey λ, im Schließungsdraht aber l, so ist also die Stromstärke

$$p = \frac{e}{\lambda + l}.$$

Hätte man n solcher Elemente zu einer Säule vereinigt, so würde die elektrische Spannung, welche den Strom in Bewegung setzt, ne seyn, der

Widerstand in der Kette aber ist in demselben Verhältniß gewachsen, denn jetzt ist nicht der Widerstand in einem, sondern in n Elementen zu überwinden, der Leitungswiderstand ist also jetzt $n\lambda$. Wenn nun der Schließungsbogen derselbe ist wie bei der einfachen Kette, so hat man für die Stromstärke

$$p^1 = \frac{n\,e}{n\lambda + l}.$$

Wäre l sehr klein im Vergleich λ, so würde der obige Werth von p sehr nahe $\frac{e}{\lambda}$, der Werth von p^1 aber $\frac{n\,e}{n\lambda}$, also auch $= \frac{e}{\lambda}$ seyn; wenn also der Widerstand im Schließungsbogen klein ist im Vergleich zu dem Leitungswiderstand eines einzelnen Elementes, so gewährt die Vermehrung der Elemente gar keinen Vortheil. Dahingegen hat eine Vermehrung der Elemente eine Vermehrung der Stromstärke zur Folge, wenn l sehr groß ist, d. h. wenn im Schließungsbogen ein bedeutender Widerstand zu überwinden ist.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Vergrößerung der Oberfläche einer einfachen Kette hat. Die Stromstärke für ein einziges Element wurde oben mit $p = \frac{e}{\lambda + l}$ bezeichnet; wenn nun die Oberfläche des Volta'schen Elements $n$mal so groß würde, ohne daß sonst etwas geändert wird, so hätte dies doch nur zur Folge, den Leitungswiderstand in der Kette selbst $n$mal kleiner zu machen, weil ja der Querschnitt der Flüssigkeit, durch welche der Strom hindurchgehen muß, $n$mal größer geworden ist; statt des Widerstandes λ hätte man also jetzt $\frac{\lambda}{n}$, die Stromstärke p'' wird also seyn

$$p'' = \frac{e}{\frac{\lambda}{n} + l}$$

oder was dasselbe ist

$$p'' = \frac{n\,e}{\lambda + n\,l}$$

Wäre l, d. h. der Leitungswiderstand im Schließungsbogen gleich Null, so wäre die Stromstärke der Oberfläche des elektrometrischen Elementes proportional; dies ist auch noch sehr nahe der Fall, wenn l nur sehr klein ist; eine Vergrößerung der Oberfläche bringt also dann eine Vermehrung der Stromstärke hervor, wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen klein ist gegen den Widerstand in der Kette.

Die Werthe für die Leitungswiderstände in der Kette selbst und im Schließungsbogen müssen natürlich auf eine und dieselbe Einheit bezogen werden, wie wir dies sogleich sehen werden.

Das Ohmische Gesetz war schon im Jahre 1827 publicirt worden

(die galvanische Kette, mathematisch behandelt von Dr. G. S. Ohm, Berlin, 1827); es fand jedoch erst weit später die allgemeine Würdigung, die es verdient; im Auslande, namentlich in Frankreich wurde es erst vor wenigen Jahren bekannt, und so ist es erklärlich, daß Pouillet, ohne mit Ohms Untersuchungen bekannt zu seyn, die Grundsätze desselben auf experimentalem Wege nachwies, während Ohm seine Resultate aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet hatte. Es unterliegt demnach keinem Zweifel, daß Pouillet ebenfalls die Ehre der Entdeckung gebührt, namentlich wenn man bedenkt, wie sehr verschieden die Wege waren, auf welchen beide Gelehrte zu derselben Wahrheit gelangten.

Pouillet's Versuche mögen uns nun hier als experimentale Belege für die Richtigkeit des Ohmischen Gesetzes dienen.

78 **Gesetze der Stromstärke eines einzigen hydroelektrischen Elementes.** Nehmen wir zu Versuchen über diesen Gegenstand ein Becquerel'sches Element, Fig. 130, weil ein solches einen starken constanten Strom giebt. Man kann dazu eben so gut auch ein Element irgend einer andern constanten Batterie nehmen.

Um zu bestimmen, nach welchem Gesetze die Stromstärke abnimmt, wenn der Schließungsbogen verlängert wird, läßt man zuerst den Strom unmittelbar durch die Tangentenboussole gehen, dann aber schaltet man der Reihe nach gleich dicke Drahtstücke von 5, 10, 40, 70 und 100 Meter Länge ein. Um die längeren Drähte bequem anwenden zu können, müssen sie mit Seide übersponnen und zusammengewunden seyn.

Eine Versuchsreihe der Art gab folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
0 Meter	62° 00′	1,880
5	40 20	0 849
10	28 30	0,543
40	9 45	0,172
70	6 00	0,105
100	4 15	0,074

Man sieht hier gar keine Regelmäßigkeit in der Abnahme, welche die Stromstärke erleidet, wenn der eingeschaltete Draht länger wird; wenn man aber bedenkt, daß dieser Draht nicht das einzige Hinderniß für den Strom

ist, daß in dem elektromotorischen Apparate selbst und in den verschiedenen Theilen der Boussole, welche der Strom durchläuft, ein Leitungswiderstand überwunden werden muß, was wir als Widerstand des Elementes bezeichnen wollen, so ist klar, daß man den Widerstand des Elementes gleichsetzen kann dem Widerstand eines Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete und von der noch unbekannten Länge x, eigentlich also sind folgende die zusammengehörigen Längen der Kette und Ablenkungswinkel:

Länge der Kette.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
x	62° 00′	1,880
x + 5	40 20	0,849
x + 10	28 30	0,543
x + 40	9 45	0,172
x + 70	6 00	0,105
x + 100	4 15	0,074

Wenn sich nun die Stärke der hydroelektrischen Ströme wirklich umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, so müssen sich die Zahlen der ersten Columne umgekehrt verhalten wie die Zahlen der letzten, es muß also seyn

$$x : x + 5 = 0{,}849 ; 1{,}880$$

woraus sich ergiebt $x = 4{,}11$. Vergleicht man auf dieselbe Weise die erste Beobachtung mit allen folgenden, so muß man immer gleichen Werth für x erhalten, und in der That sind die auf diese Weise berechneten Werthe von x sehr nahe einander gleich; man findet nämlich außer dem schon berechneten 4,06, 4,03, 4,14 und 4,09 Meter. Das Mittel daraus ist 4,08.

Der Widerstand des Elementes ist also gleich dem Widerstand eines 4,08 Meter langen Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete. Legt man diese Länge zu Grunde, so kann man nach dem allgemeinen Gesetze, daß sich die Stärke des Stromes umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, leicht die Ablenkungen berechnen, welche man hätte erhalten müssen, und diese mit den direct beobachteten vergleichen, wie dies in der folgenden Tabelle geschehen ist:

Länge der Kette.	Berechnete Ablenkung.	Beobachtete Ablenkung.	Differenz.
4,08 Meter	62° 00′	62° 00′	
9,08	40 18	40 20	+ 2′
14,08	28 41	28 30	— 11
44,08	9 56	9 45	— 11
74,08	5 57	6 00	+ 3
104,08	4 14	4 15	+ 1

Eine solche Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Beobachtung und denen, die man aus dem allgemeinen Gesetz abgeleitet hat, läßt keinen Zweifel mehr über die Richtigkeit dieses Gesetzes für hydroelektrische Ströme.

Ist der Leitungswiderstand des Elementes einmal auf einen Draht von gegebenem Querschnitt reducirt, so ist es leicht, die Zahl zu finden, welche diesen Leitungswiderstand ausdrückt, wenn man zu den Versuchen irgend einen andern Draht anwendet. Der Widerstand des Elementes ist z. B. gleich dem eines 4,08 Meter langen Drahtes, wie er zu den obigen Versuchen war angewendet worden, er ist aber auch gleich dem Widerstand eines 40,8 Meter langen Drahtes von 10mal größerm Querschnitt u. s. w.

Ebenso wie man nach dieser Methode den Einfluß der Länge der Kette bestimmt, kann man auch den Einfluß der verschiedenen Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle untersuchen.

79 **Gesetze der Stromstärke zusammengesetzter Ketten.** Sechs Becquerel'sche Elemente von der auf Seite 141 dargestellten Einrichtung werden zu einer Kette verbunden. Zuvor aber war der Leitungswiderstand jedes einzelnen Elementes bestimmt worden; die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Untersuchung.

Nummer der Elemente	Drahtlängen, welche zu jedem Element hinzugefügt worden waren	Beobachtete Ablenkung		Tangente des Ablenkungswinkels	Widerstand des Elementes
1	0m	69°	»'	2, 600	»m »
	5	43	20	0, 943	2, 85
	10	30	»	0, 577	2, 85
	40	11	»	0, 194	3, 20
				Mittel . . .	2, 97
2	0	66	30	2, 300	» »
	5	43	»	0, 933	3, 41
	10	29	40	0, 570	3, 35
	40	10	40	0, 488	3, 55
				Mittel . . .	3, 44
3	0	67	40	2, 434	» »
	5	42	30	0, 916	3, 02
	10	29	40	0, 570	3, 05
	40	10	20	0, 182	3, 23
				Mittel . . .	3, 10
4	0	67	»	2, 355	» »
	5	42	30	0, 909	3, 19
	10	29	40	0, 570	3, 19
	40	10	20	0, 482	3, 55
				Mittel . . .	3, 25
5	0	68	»	2, 475	» »
	5	43	20	0, 943	3, 08
	10	30	30	0, 589	3, 13
	40	11	»	0, 194	3, 40
				Mittel . . .	3, 21
6	0	64	»	2, 050	» »
	5	41	»	0, 869	3, 68
	10	28	40	0, 548	3, 64
	40	10	»	0, 176	3, 57
				Mittel . . .	3, 69

Die letzte Columne drückt aus, wie lang ein Draht von der zur Einschaltung angewandten Dicke seyn müßte, um denselben Leitungswiderstand hervorzubringen wie der, welcher zu überwinden ist, wenn das Element nur durch die Tangentenboussole geschlossen ist.

Die einzelnen Elemente hatten also fast gleiche Stärke, nur das 6te war etwas schwächer. Diese 6 Elemente, zu einer Kette verbunden, gaben einen Strom, welcher einen Platindraht von $1/4$ Millimeter Dicke und mehr als 20 Centimeter Länge fortdauernd glühend erhalten konnte. Ließ man nun diesen Strom durch die Tangentenboussole gehen, so erhielt man bei Einschaltung verschiedener Längen von Kupferdraht folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Drahtes	Beobachtete Ablenkung	Tangente des Ablenkungswinkels	Widerstände
0 Meter	68° 30′	2,538	Meter
5	63 20	1,991	18,20
10	58 30	1,632	19,03
40	39 0	0,810	18,01
70	28 0	0,532	18,56
100	21 30	9,394	18,38
		Mittel . . .	18,43

Die 6 Elemente zusammen leisten also mit der Tangentenboussole einen Leitungswiderstand wie ein 18,43 Meter langes Stück des eingeschalteten Drahtes.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß die 6 Elemente, nun durch die Tangentenboussole geschlossen, eine Ablenkung geben, welche nicht größer ist als diejenige, welche ein einziges nur durch die Tangentenboussole geschlossenes Element giebt. Schaltet man aber einen Draht ein, so daß der Widerstand im Schließungsbogen bedeutend wird, so wird durch Vermehrung der Elemente die Stromstärke vergrößert. Die Ablenkung ist 39° für 6, 10 bis 11° für ein Element, wenn ein 40 Meter langer Draht eingeschaltet wird.

Ferner zeigen diese Versuche, daß der Widerstand der Säule weit größer ist als der eines jeden einzelnen Elementes, daß übrigens auch hier die Stromstärke dem allgemeinen Gesetze unterworfen bleibt, daß sich nämlich die Stromstärke umgekehrt verhält wie die Gesammtlänge der zu durchlaufenden Kette (für jedes einzelne Element ist natürlich seine reducirte Länge in Rechnung zu bringen).

80 **Theorie des Multiplicators.** Nach den eben entwickelten Gesetzen kann man auch bestimmen, welche Einrichtung man einem Multiplicator geben müsse, damit er möglichst empfindlich sey. Einige Beispiele werden hinreichen, die allgemeinen Principien verständlich zu machen und zu

zeigen, daß die Construction des Multiplicators ganz und gar von der Kette abhängt, in welche man ihn einschalten will.

1) Wenn man einen Multiplicator bei einer Kette anwendet, welche an und für sich eine bedeutende Länge hat, so muß man dem Multiplicator eine große Anzahl von Windungen geben, und braucht ihn nicht aus einem gar dicken Drahte zu construiren. Nehmen wir z. B. an, die Kette bestehe aus einem $^1/_{10}$ Millimeter dicken und 100 Meter langen Kupferdrahte, so wird, wenn man einen ebenso langen und ebenso dicken Multiplicatordraht hinzufügt, die Stromstärke nur auf die Hälfte reducirt, mit diesen 100 Metern kann man aber viele sehr dicht auf einander liegende Windungen machen, welche auf die Nadel eine sehr kräftige Wirkung ausüben. Wollte man den Multiplicatordraht nur 10 Meter lang machen, so würde die Stromstärke $^{10}/_{11}$ der ursprünglichen seyn, durch diesen kürzeren Multiplicatordraht wäre also der Strom an und für sich freilich nicht so stark geschwächt worden, wie im vorigen Falle; mit dem 10 Meter langen Drahte kann man aber nur 10mal weniger Windungen machen als mit dem 100 Meter langen, und es ist klar, daß 10 Windungen, von denen jede die Stromstärke $^1/_2$ besitzt, stärker wirken, als eine Windung von der Stromstärke $^{10}/_{11}$.

Hätte man statt des 100 Meter langen und $^1/_{10}$ Millimeter dicken Multiplicatordrahtes einen ebenso langen, aber 1 Millimeter dicken angewendet, so würde die Einschaltung dieses Drahtes fast nichts an der Stromstärke der Kette geändert haben, während der gleich lange $^1/_{10}$ Millimeter dicke Draht sie auf die Hälfte reducirte. Man sollte demnach meinen, daß bei gleicher Länge der dickere Multiplicatordraht die doppelte Wirkung geben müßte. Dies ist jedoch nicht der Fall, weil die Windungen des dünneren Drahtes dichter zusammen gewunden werden können, also der Nadel alle näher sind und deshalb auch kräftiger wirken. Man kann demnach leicht den Einfluß der Länge und der Dicke des Multiplicatordrahtes für jeden Fall richtig beurtheilen.

2) Wenn der Multiplicator in eine Kette eingeschaltet werden soll, welche an und für sich nicht lang ist, so muß man einen kurzen, dicken Draht nehmen und wenige Windungen machen. Man kann sich davon leicht durch ein dem vorigen ganz ähnliches Raisonnement überzeugen.

Wenn also die Kette, in welche man den Multiplicator einschalten will, kurz ist, so kann man in der That sagen, daß der Multiplicator nicht mehr multiplicirt, denn vorausgesetzt, daß die Länge der Kette selbst gegen die des Multiplicatordrahtes vernachlässigt werden kann, so ist klar, daß, wenn man 10mal so viel Windungen macht, man einen 10mal längern Draht nehmen muß, wodurch die Stromstärke auf $^1/_{10}$ reducirt wird.

Zehn Windungen von der Stromstärke $1/_{10}$ wirken aber nicht mehr als eine einzige von der Stromstärke 1.

81 **Leitungsfähigkeit der Metalle.** Bei den auf Seite 180 angeführten Versuchen wurden Drahtstücke von verschiedener Länge in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet und dadurch das Verhältniß der Stromstärke zur Länge des Schließungsdrahtes ermittelt. Wenn man nun aber gleich lange, aber ungleich dicke Dráhte desselben Metalls in den Schließungsbogen einschaltet und immer die entsprechenden Ablenkungen der Nadel der Tangentenboussole beobachtet, so ergiebt sich aus diesen Versuchen das Verhältniß der Stromstärke zur Dicke der Dráhte; man findet: daß die Stromstärke dem Querschnitte der Dráhte proportional ist; oder mit anderen Worten: zwei Dráhte desselben Metalls werden gleichen Leitungswiderstand ausüben, wenn sich ihre Längen umgekehrt verhalten wie ihre Querschnitte.

Um die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle mit einander zu vergleichen, ist wohl keine Methode einfacher und sicherer, als den Strom eines hinlänglich kräftigen Elementes durch die Tangentenboussole zu leiten, Dráhte verschiedener Metalle in den Schließungsbogen einzuschalten und die entsprechenden Ablenkungen zu beobachten.

Nach Pouillet's Versuchen, die jedoch nach einer andern Methode angestellt worden waren, verhält sich die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle wie folgende Tabelle angiebt.

Silber	136	
Gold	103	
Kupfer	100	
Zink	28	(Becquerel)
Platin	22	
Eisen	17	
Quecksilber	2,6.	

D. h. ein Kupferdraht von 100 Fuß Länge leistet einem elektrischen Strome einen ebenso großen Widerstand, wie gleich dicke Dráhte von Silber, Zink, Platin, Eisen u. s. w., welche resp. 136, 28, 22, 17 Fuß lang sind.

Um das Leitungsvermögen des Quecksilbers zu bestimmen, wandte er statt des Drahtes eine vollkommen cylindrische mit Quecksilber gefüllte Glasröhre an, deren Durchmesser man durch Wägung ermitteln kann.

Fig. 157.

Die Enden dieser Röhre, Fig. 157, stecken in zwei hinlänglich weiten Glasröhren.

Ein erhitzter Draht leitet den

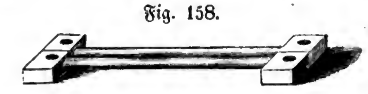
elektrischen Strom nicht so gut wie ein kalter, oder mit anderen Worten, durch Erwärmung wird die Leitungsfähigkeit der Metalle vermindert; die Ablenkung der Nadel in der Tangentenboussole wird sogleich vermindert, wenn man den in den Schließungsbogen eingeschalteten Draht durch eine Weingeistflamme erhitzt.

82

Verhältniß der Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und der Metalle. Um die verschiedenen Quellen der Elektricität mit einander vergleichen zu können, ist es nöthig zu wissen, in welchem Verhältnisse die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten zu der der Metalle steht. Für Flüssigkeiten aber wie für Metalle gilt der Satz, daß die Stromstärke im geraden Verhältnisse des Querschnitts und im umgekehrten der Länge steht. Es läßt sich dies auf folgende Weise darthun.

Man richtet mehrere Systeme von Röhren in der Weise her, wie man Fig. 158 sieht. Die beiden Röhren desselben Systems sind einander vollkommen gleich und möglichst cylindrisch; sie werden mit Flüssigkeit gefüllt, und dann der Strom durch sie und die Sinusboussole hindurchgeleitet. Die Verbindung wird nun auf dreierlei Weise hergestellt, so daß man drei verschiedene Ablenkungen erhält.

Fig. 158.



Bei dem ersten Versuche geht der Strom nur durch eine Röhre, er durchläuft also eine flüssige Säule von der Länge 1 und dem Querschnitte 1.

Bei dem zweiten Versuche geht der Strom zugleich durch die beiden Röhren, er durchläuft also eine flüssige Säule von der Länge 1 und dem Querschnitte 2.

Bei dem dritten Versuche geht der Strom erst durch die eine und dann durch die andere Röhre, er durchläuft also eine Säule von der Länge 2 und dem Querschnitte 1.

Vergleicht man nun die Ablenkungen, welche man in diesen drei Fällen erhält, so ergiebt sich der oben ausgesprochene Satz.

Wenn man sehr weite Röhren und gut leitende Flüssigkeiten hat, so muß man den Widerstand in dem elektromotorischen Apparate und in dem Drahte der Boussole in Rechnung bringen, bei engeren Röhren aber und schlechtleitenden Flüssigkeiten kann man diese Widerstände vernachlässigen. Jedenfalls muß die Flüssigkeit immer mit demselben Metalle und zwar mit einem solchen in Berührung gebracht werden, welches nicht von der Flüssigkeit angegriffen wird.

Hat man einmal die Leitungsfähigkeit einer Flüssigkeit mit der eines Metalls verglichen, so braucht man nachher nur die Leitungsfähigkeit der

Flüssigkeiten unter sich zu vergleichen, um zu wissen, wie sich die Leitungsfähigkeit einer jeden zu der irgend eines Metalles verhält.

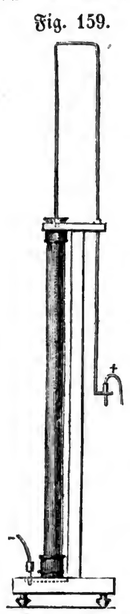
Zu dieser Vergleichung wurde nur Platin und eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol von 15⁰ gewählt. Es ergab sich, daß, wenn man den Strom irgend einer Kette durch eine Säule dieser Flüssigkeit von 1 Meter Länge und 20 Millimeter Durchmesser gehen ließ, an der Sinusboussole derselbe Ausschlag erhalten wird, als wenn man denselben Strom durch einen 132 Meter langen und 0,144 Millimeter dicken Platindraht gehen läßt.

Man kann daraus leicht schließen, daß die Leitungsfähigkeit des Platins

2546680

ist, wenn man die der Kupfervitriol-Lösung gleich 1 setzt, daß also Platin $2\frac{1}{2}$millionenmal besser leitet als jene Flüssigkeit.

Fig. 159.



Da das Kupfer $6\frac{1}{2}$mal so gut leitet als Platin, so ist also die Leitungsfähigkeit des Kupfers 16 Millionenmal größer als die eine Auflösung von Kupfervitriol.

Um nun die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten unter sich zu vergleichen, wurde der Apparat Fig. 159 angewandt. Es besteht aus einer cylindrischen Röhre, welche unten mit einer kupfernen Fassung geschlossen ist, und in welche von oben her ein Kupferdraht hineinreicht, den man nach Belieben tiefer oder weniger tief hinabdrücken kann. Diese Röhre wird mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol gefüllt. Die andere Flüssigkeit befindet sich in einer horizontalen gleichfalls cylindrischen Röhre von passenden Dimensionen. Zuerst läßt man den Strom durch die zu prüfende Flüssigkeit und die Boussole gehen und merkt sich die hervorgebrachte Ablenkung. Dann leitet man den Strom durch die Boussole und die Lösung des Kupfervitriols, verschiebt aber den von oben hineinragenden Kupferdraht so lange, bis man dieselbe Ablenkung erhält, wie mit der andern Flüssigkeit; man hat alsdann nur noch die Länge und den Querschnitt der durchströmten flüssigen Säulen zu vergleichen, um das Verhältniß der Leitungsfähigkeit zu erhalten. Folgendes ist das Resultat der Versuche.

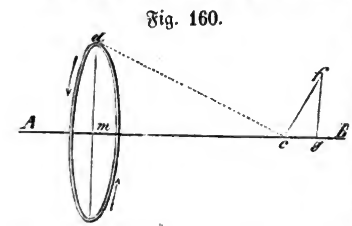
Flüssigkeit.		Leitungsfähigkeit.
Gesättigte Lösung von Kupfervitriol	......	1,0000
id. verdünnt mit 1 Vol. Wasser	....	0,6400
id. » » 2 » »	....	0,4400
id. » » 4 » »	....	0,3100
Gesättigte Lösung von Zinkvitriol	....	0,4170
Destillirtes Wasser	....	0,0025
id. mit $\frac{1}{20000}$ Salpetersäure	.....	0,015

Die Lösung des Zinkvitriols war zwischen Pole von Zink, das Wasser zwischen Pole von Platin gebracht worden.

83 **Messung galvanischer Ströme nach absolutem Maaße.** Um ein absolutes Maaß für galvanische Ströme zu erhalten, haben wir nur ihre Wirkung auf die Magnetnadel mit der Wirkung des Erdmagnetismus zu vergleichen; am einfachsten läßt sich aber dann diese Vergleichung nach Weber's Methode ausführen, wenn man die ablenkende Kraft kreisförmiger Ströme durch den Versuch bestimmt.

Die Fig. 160 stelle die perspectivische Ansicht eines kreisförmigen Stromes dar, dessen Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, so also, daß die durch den Mittelpunkt des Kreisstromes gelegte horizontale Linie $A\ B$ auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht. Untersuchen wir nun zunächst, welche Wirkung der Kreisstrom auf irgend ein magnetisches Element ausübt, welches sich in irgend einem Punkte der Linie $A\ B$, etwa in c, befindet.

Fig. 160.



Wenn der Kreisstrom in der durch die Pfeile bezeichneten Richtung circulirt, so hat ein elementares Theilchen des Stromes, etwa das Theilchen bei d, ein Bestreben, ein nordmagnetisches Element in c nach der Richtung $c\ f$ zu bewegen; die Größe dieser bewegenden Kraft läßt sich durch

$$\frac{g\gamma\varphi}{l^2}$$

darstellen, wenn g die Stärke des Kreisstromes, γ die Intensität des Magnetismus in dem magnetischen Theilchen bei c, und φ die Länge des elementaren Stromtheilchens bei d bezeichnet. Setzen wir aber den Halbmesser des Kreises gleich y, die Entfernung $mc = x$, so ist $l^2 = x^2 + y^2$, und der obige Werth für die bewegende Kraft $c\ f$ wird

$$\frac{g\gamma\varphi}{x^2+y^2}.$$

Zerlegt man die Kraft cf nach der Richtung der Ringaxe, so kann man leicht den Werth der Composante cg bestimmen, denn offenbar verhält sich $cf : cg = cd : cm$, oder $cf : cg = l : y$, mithin ist $cg = \frac{cf \cdot y}{l}$ $= \frac{cf \cdot y}{\sqrt{x^2+y^2}}$ oder endlich

$$cg = \frac{g\gamma\varphi y}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Setzen wir nun in diesen Werth von cg für das Bogenelement φ den ganzen Umfang $2\,\Pi\,y$ des Kreisstromes, so ergiebt sich als Resultante der Kräfte, mit welchen alle Elemente des Kreisstromes das Theilchen γ in der Richtung der Axe zu bewegen suchen,

$$\frac{2\,\Pi\,y^2\,\gamma\,g}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad a),$$

Die Kräfte senkrecht gegen die Richtung der Axe AB heben sich auf.

Aus dieser Formel sehen wir,

1) daß die Wirkung eines Kreisstromes auf irgend ein magnetisches Theilchen, welches auf seiner Axe liegt, sich umgekehrt verhält wie die dritte Potenz der Entfernung $\sqrt{(x^2+y^2)}$ des magnetischen Theilchens von der Peripherie des Kreisstromes, und

2) daß die Wirkung eines Kreisstromes dem Quadrate seines Halbmessers, oder, was dasselbe ist, dem Flächeninhalte des umströmten Kreises proportional ist.

Die Formel

$$\frac{2\,\Pi\,y^2\,\gamma\,g}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$$

kann aber auch die Kraft ausdrücken, mit welcher der Kreisstrom eine in c befindliche kleine Magnetnadel in die Axe AB zu drehen strebt, die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf dieselbe Nadel wirkt, um sie in den magnetischen Meridian zurückzuführen, ist alsdann

$$T\gamma.$$

Der Quotient beider Größen muß aber die Tangente des Ablenkungswinkels geben, es ist also

$$\frac{2\,\Pi\,y^2\,g}{T\,(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} = tang.\,u.$$

Nun gilt aber diese Formel, in welchem Punkte der Axe AB sich auch die Nadel befinden mag, wenn ihre Länge nur klein genug gegen ihre Entfernung von der Peripherie des Kreisstromes ist. Für den Fall nun, daß die kleine Nadel in dem Mittelpunkte des Kreisstromes liegt, ist $x = o$,

und $y = R$, wenn R den Halbmesser des Kreisstromes bezeichnet, wir erhalten alsdann

$$\frac{2\ \Pi\ R^2\ g}{T\ R^3} = tang.\ u.$$

daraus

$$\Pi\ R^2\ g = \frac{T\ R^3\ tang.\ u}{2}$$

und endlich

$$g = \frac{T\ R\ tang.\ u}{2\ \Pi}.$$

Wir haben jetzt einen Werth für g gefunden und müssen nur noch die nähere Bedeutung desselben ermitteln.

Wir haben oben Seite 44 gesehen, wie man aus den Schwingungen eines Magnetstabes das Drehungsmoment C bestimmen kann, mit welchem der Erdmagnetismus den Stab zu drehen strebt, wenn derselbe rechtwinklig auf dem magnetischen Meridiane steht. Dieses Drehungsmoment ist aber ein Produkt des Momentes des Magneten M und der Intensität T des Erdmagnetismus. Nun äußert der Erdmagnetismus auch ein Bestreben, einen kreisförmigen Strom, der im magnetischen Meridiane steht, rechtwinklig auf denselben zu stellen, und dieses Drehungsmoment ließe sich auch durch Schwingungsversuche ausmitteln, wenn man nur den Kreisstrom beweglich genug machen könnte.

Nun aber giebt es, da ja der Werth T schon bekannt ist, noch ein anderes Mittel, den Werth von M für einen kleinen Magnetstab zu bestimmen. Wir haben oben gesehen, daß, wenn man einen kleinen Magneten in eine solche Lage gegen eine Magnetnadel bringt, wie Fig. 30, Seite 39 zeigt, alsdann

$$\frac{M}{T} = R^3\ tang.\ v,$$

wenn v die beobachtete Ablenkung der Nadel und r die Entfernung des Magneten von derselben bezeichnet; aus einem solchen Ablenkungsversuche kann man also den Werth von M bestimmen, denn es ist

$$M = T\ R^3\ tang.\ v.$$

Bringt man aber denselben Magneten in die Fig. 29 dargestellte Lage gegen die Nadel, so erhält man eine solche Ablenkung u der Nadel, daß bei gleicher Entfernung die Tangente des Ablenkungswinkels u jetzt doppelt so groß ist, als die Tangente der in der ersten Lage beobachteten Ablenkung v; hat man also bei der Fig. 29 dargestellten Lage die Ablenkungsversuche gemacht, so ist

$$N = T\,.\,R^3\ \frac{tang.\ u}{2}.$$

Da man nun mit einem galvanischen Kreisstrome auf dieselbe Weise Ablenkungsversuche machen kann, so kann man also auch das Moment G für einen solchen Strom eben so gut bestimmen, wie den Werth M für einen Magneten; es ist nämlich

$$G = \frac{T\,R^3\,tang.\,u}{2}$$

wir haben aber eben gesehen, daß auch

$$\Pi\,R^2\,g = \frac{T\,R^3\,tang.\,u}{2}$$

das Moment eines Kreisstromes ist also dem Inhalte der umströmten Kreisfläche proportional. Das Moment eines Kreisstromes ist demnach

$$G = \Pi\,R^2\,g$$

das Moment eines Kreisstromes von gleicher Stromstärke, welchen die Einheit der Fläche umströmt, für welchen also $\Pi\,R^2 = 1$, haben wir also

$$g = G,$$

es drückt also der Werth g das Moment eines Kreisstromes aus, welcher die Flächeneinheit umströmt. Die Einheit der Stromintensität ist also diejenige Stromstärke, welche, die Einheit der Fläche umkreisend, in die Ferne dieselbe Wirkung hervorbringt wie die Einheit des freien Magnetismus.

Wenn z. B. ein Strom in der Tangentenboussole, Fig. 151, deren Radius 100mm beträgt, eine Ablenkung von 54° hervorbringt, so ist für diesen Strom

$$g = T\,.\,\frac{100\,.\,tang.\,54^0}{2\,\Pi} = T\,.\,21{,}9,$$

ein Strom von dieser Stärke würde also, wenn er die Flächeneinheit umkreis't, auf die Entfernung 1 eine 21,9mal stärkere Wirkung ausüben als der horizontale Theil des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte. Gesetzt, der Werth von T sey für diesen Ort 1,774, so wäre demnach

$$g = 38{,}85,$$

d. h. ein Strom von dieser Stärke, die Flächeneinheit umkreisend, wirkt in die Ferne 38,85mal so stark wie die Einheit des freien Magnetismus.

84 **Das elektrochemische Aequivalent des Wassers.** Wie schon früher erwähnt wurde, hat Faraday das wichtige Gesetz nachgewiesen, daß, wenn eine Flüssigkeit durch einen galvanischen Strom zersetzt wird, daß alsdann die Quantität der zersetzten Flüssigkeit der zu dieser Zersetzung verwandten Stromquantität proportional sey, daß also die durch den Strom hervorgebrachte chemische Zersetzung ein Maaß für die Quantität der circulirenden Elektricität ist. Nun aber wird die Stromkraft auch durch die magnetischen Wirkungen des Stromes gemessen, und beide Effecte sind stets einander proportional.

Wenn man in den Schließungsbogen einer galvanischen Kette einen Wasserzersetzungsapparat und die Weber'sche Tangentenboussole einschaltet, so wird in einer gegebenen Zeit eine bestimmte Quantität Wasser zersetzt, während man eine Ablenkung v der Nadel beobachtet. Wenn man nun auf irgend eine Weise die Quantität der Wasserzersetzung vermehrt, so wird die magnetische Wirkung in demselben Verhältniß zunehmen; hätte man etwa durch Anwendung einer kräftigen Säule in derselben Zeit zweimal, dreimal so viel Wasser zersetzt, so würde auch die Tangente des Ablenkungswinkels zweimal, dreimal größer geworden seyn.

Faraday hat ferner gezeigt, daß chemisch äquivalente Massen verschiedener Körper zu ihrer Zersetzung gleiche Stromquantitäten gebrauchen, oder mit anderen Worten, daß die elektrochemischen Aequivalente den gewöhnlichen chemischen Aequivalenten proportional sind. Will man die elektrochemischen Aequivalente in Zahlen ausdrücken, so ist vor allen Dingen eine Einheit für den galvanischen Strom zu bestimmen und dann zu ermitteln, wie viel Wasser in der Zeiteinheit durch die Stromeinheit zersetzt wird, um so das elektrochemische Aequivalent des Wassers zu bestimmen.

In der vorigen Nummer haben wir gesehen, wie man die Stromkraft auf ein absolutes Maaß zurückführen kann, und die dort zu Grunde gelegte Einheit der Stromkraft kann auch dienen, um das elektrochemische Aequivalent des Wassers in absoluten Zahlen auszudrücken.

Ein und derselbe Strom werde durch einen Wasserzersetzungsapparat und zugleich durch die Weber'sche Tangentenboussole geleitet; die Quantität des in t Sekunden zersetzten Wassers sey mit w bezeichnet, g sey die nach der vorigen Nummer berechnete Stromkraft, so ist $\frac{w}{t}$ die Quantität des in einer Sekunde zersetzten Wassers und

$$\frac{w}{g\,t}$$

das elektrochemische Aequivalent des Wassers, d. h. die Quantität des Wassers, welches während der Zeiteinheit (der Sekunde) durch den galvanischen Strom zerlegt wird, der zur Einheit der Stromkraft festgesetzt worden ist.

Weber hat in diesem Sinne das elektrochemische Aequivalent des Wassers durch eine äußerst genaue Versuchsreihe bestimmt und dafür den Werth

0,009376

gefunden, d. h. die in der vorigen Nummer bestimmte Stromeinheit zersetzt in einer Sekunde 0,009376 Milligramm Wasser.

Weber hat zur Bestimmung des elektrochemischen Aequivalentes des Wassers den Werth von g nach einer Methode bestimmt, deren Betrach-

tung uns hier zu weit führen würde (Poggendorff's Annalen Bd. LV. S. 181).

Bunsen hat das elektrochemische Aequivalent des Zinks mit Hülfe der Weber'schen Tangentenboussole bestimmt; der Versuch wurde auf folgende Weise angestellt. Die Thonzelle einer einfachen Kohlenzinkkette wurde mit Kochsalzlösung gefüllt, ein amalgamirter Zinkstreifen statt des Zinkcylinders in diese eingetaucht, und dann die Kette durch die Tangentenboussole geschlossen. Die beobachtete Ablenkung betrug anfangs 29°42′, nahm aber 1 Minute 45 Sekunden lang allmälig bis auf 26°21′ ab und blieb dann constant. Vom Beginne des Stromes an wurde alle 15 Sekunden die Ablenkung der Nadel und zwar 5 Minuten lang beobachtet; das Mittel aus den auf diese Weise beobachteten 21 Ablenkungen, von denen die letzten 14 sämmtlich 26°21′ betrugen, ist 26°58,5′; während der 5 Minuten, in denen die Kette geschlossen war, wurden aber 0,2982 Gramm Zink aufgelös't.

Bei einem ähnlichen, etwas anders arrangirten Versuch war das Mittel aus den 21 abgelesenen Ablenkungen 40°11,6′, und während 5 Minuten wurden 0,5055 Gramm Zink aufgelös't.

Die in beiden Versuchen aufgelös'ten Mengen von Zink verhalten sich wie 1 : 1,695; die Tangenten der mittleren Ablenkungswinkel aber wie 1 : 1,661; die chemischen und die magnetischen Wirkungen des Stroms sind also in der That fast in gleichem Verhältniß gewachsen. Suchen wir nun nach diesen Versuchen das elektromotorische Aequivalent des Zinks zu berechnen.

Die Stromstärke berechnen wir nach der Formel:

$$g = \frac{1}{2\,\Pi}\, T\, R\, tang.v.$$

R war bei der zu diesen Versuchen angewandten Tangentenboussole 204 Millimeter; da nun v für die erste Versuchsreihe 26°58,5′, für die zweite aber 40°11,6′ ist, so ergiebt sich für die erste Versuchsreihe

$$g = 30{,}169,$$

für die zweite

$$g = 50{,}099,$$

wenn man den Werth von T für Marburg $= 1{,}827$ setzt.

Im Allgemeinen ist zwar der Werth von T für Marburg 1,88, in dem eisenhaltigen Lokale jedoch, in welchem die Versuche angestellt wurden, ergab sich aus besonders deshalb angestellten Versuchen für T der Werth 1,827.

Da während 300 Sekunden bei der ersten Versuchsreihe 0,2982 Gramm Zink aufgelös't worden waren, so kommt auf eine Sekunde $\frac{0{,}2982}{300} =$

0,000994; dividirt man diese Zahl durch die mittlere Stromstärke 31,045 der ersten Versuchsreihe, so erhält man für das elektrochemische Aequivalent des Zinks

0,00003294.

Aus der zweiten Versuchsreihe ergiebt sich auf dieselbe Weise für dieses Aequivalent

0,00003364.

Nun verhält sich das chemische Aequivalent des Wassers zu dem des Zinks wie 112,48 : 403,23; da nun Weber für das elektrochemische Aequivalent des Wassers 0,000009376 gefunden hat, so ergäbe sich demnach für das elektrochemische Aequivalent des Zinks

0,00003369,

was mit dem oben berechneten in der That sehr nahe übereinstimmt.

Vierte Abtheilung.

Vom Elektromagnetismus.

Erstes Kapitel.

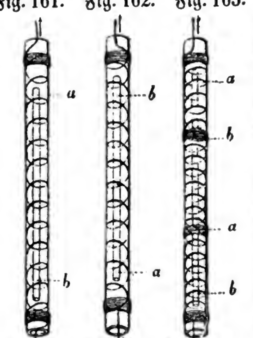
Magnetische Wirkungen des Stromes.

Wir haben zwar schon oben angeführt, daß der elektrische Strom im Stande sey, die Magnetnadel abzulenken, wir sind aber alsbald, ohne diese magnetischen Wirkungen weiter zu verfolgen, zu den Anwendungen übergegangen, welche man von der Ablenkung der Magnetnadel gemacht hat, um die Gesetze der Stromstärke zu ermitteln; der weiteren Betrachtung der magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes ist das folgende Kapitel gewidmet.

Magnetisirung durch den galvanischen Strom. Der elektrische Strom wirkt nicht allein auf den freien Magnetismus, sondern er ist auch im Stande, die noch verbundenen magnetischen Flüssigkeiten zu trennen. Um die Wirkung des Stromes auf das weiche Eisen zu zeigen, braucht man den Draht nur in Eisenfeile zu tauchen oder mit Eisenfeile zu be- 85

streuen, während der galvanische Strom hindurchgeht. Die Eisenfeile bleibt an dem Drahte hängen, bis man den Strom unterbricht. Kleine Stahlnadeln kann man mittelst des galvanischen Stromes zu bleibenden Magneten machen; damit aber der Strom recht wirksam sey, muß man ihn zu diesem Zweck transversal um die Nadel herumleiten, wie dies bei der folgenden Anordnung der Fall ist. Man windet einen Kupferdraht schraubenförmig um eine Glasröhre, in welche man eine Stahlnadel legt (Fig. 161). Läßt man nun einen Strom durch die Windungen des Drahtes hindurchgehen, so wird dadurch die Nadel bleibend magnetisch, und zwar braucht der Strom nur einen Augenblick hindurchzugehen, um die Nadel so vollständig zu magnetisiren als es nur möglich ist.

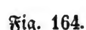
Fig. 161. Fig. 162. Fig. 163.

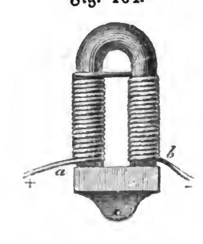


Man unterscheidet *rechtsgewundene* (Fig. 161) und *linksgewundene* Schraubendrähte (Fig. 162). Rechtsgewundene Schraubendrähte sind diejenigen, bei welchen die Windungen gerade so laufen wie bei einem Korkzieher oder einer gewöhnlichen Schraube.

Bei *rechtsgewundenen* Schraubendrähten bildet sich der Nordpol (das Südende) der Nadel an dem Ende, wo der positive Strom eintritt, bei *linksgewundenen* aber nach dem Ende hin, wo er austritt. In den Figuren ist der Nordpol mit *b*, der Südpol mit *a* bezeichnet.

Wenn man auf demselben Glasrohre den Draht abwechselnd rechts und links aufwindet, wie Fig. 163, so bilden sich Folgepunkte in der Nadel.


Fig. 164.



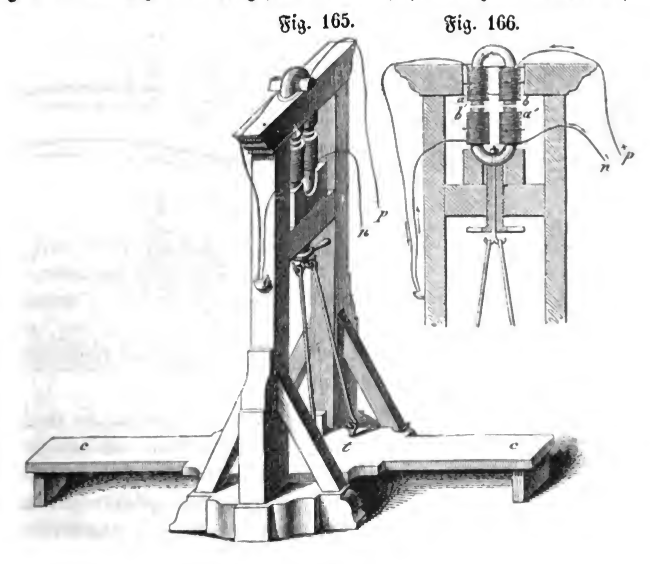
Aus weichem Eisen kann man mittelst des galvanischen Stroms Magnete machen, welche alle Stahlmagnete an Stärke weit übertreffen. Man braucht nur ein starkes hufeisenförmig gebogenes Eisen mit dickem Kupferdraht in der Weise zu umwickeln, wie man Fig. 164 sieht. Der Kupferdraht muß mit Seide überzogen seyn, damit der Strom sich nicht seitwärts von einer Windung zur andern (die Windungen liegen dicht neben einander) und nicht in das Eisen übergehen kann, sondern den Draht seiner ganzen Länge nach durchlaufen muß. Der Draht ist um beide Schenkel des Hufeisens in gleicher Richtung, um beide etwa rechts, gewunden; wenn also der positive Strom bei *a* eintritt, so wird sich bei *a* ein Nordpol, bei *b* ein Südpol bilden. Mittelst eines Ankers kann

man Gewichte an einen solchen Magneten anhängen. Ein Magnet dieser Art, dessen Eisenkern 6 — 8 Centimeter Durchmesser hat und an welchem jeder Schenkel ohngefähr 1 bis 1,5 Fuß lang ist, kann eine Last von 800 bis 1000 Pfund tragen, wenn nur der Draht dick genug ist und ein hinlänglich kräftiger Strom hindurchgeht. Als Elektromotor wendet man für diese Elektromagnete gewöhnlich den Apparat Fig. 129 oder 130 oder auch Grovesche oder Bunsensche Elemente an. Es versteht sich von selbst, daß das Eisen fast ganz aufhört, magnetisch zu seyn, sobald der galvanische Strom aufhört.

Die Größe der magnetischen Wirkung eines Stromes hängt lediglich von der Quantität der Elektricität ab, weshalb man auch zu den eben beschriebenen Elektromagneten ein einfaches Plattenpaar anwendet; weil aber der Strom einer einfachen Kette nur eine sehr geringe Intensität hat, so muß der Draht, der den Strom um das Eisen herumleitet, sehr dick seyn. Man kann aber auch Ketten von geringerer Quantität, aber größerer Intensität anwenden, um Elektromagnete zu machen, nur muß man alsdann den Draht, der hier dünner seyn kann, mehrmals um den Eisenkern herumwinden.

Ein Elektromagnet dieser Art, welcher über 2000 Pfund trägt, ist Fig. 165 und Fig. 166 dargestellt. Er besteht aus zwei runden Eisen=

Fig. 165. Fig. 166.

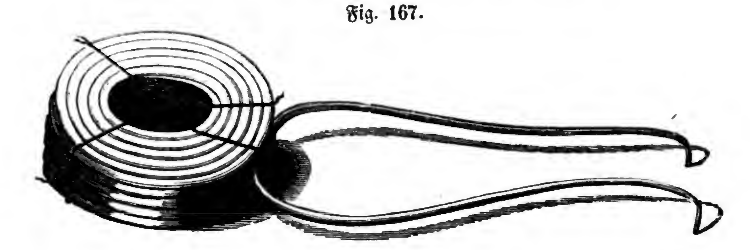


stücken von hufeisenförmiger Gestalt, welche 8 bis 10 Centimeter im Durchmesser und eine Totallänge von 60 bis 80 Centimeter haben. Die beiden Arme eines jeden Hufeisens sind mit einem ohngefähr 1000 Meter langen und $^2/_3$ Millimeter dicken mit Seide übersponnenen Kupferdraht umwunden. Ein und derselbe Strom legt nun den ganzen Weg durch den 1000 Meter langen Draht zurück, dessen Windungen von der Art sind, daß die entgegengesetzten Pole einander gegenüber stehen. Als Elektromotor dient für diesen Apparat eine kräftige Kette von 24 Paaren.

Sobald der Strom zu circuliren beginnt, wird der bewegliche Elektromagnet *a' b'* durch den festen *a b* gehoben, und wenn sie einmal an einander haften, kann man das bedeutende Gewicht von 1000 Kilogramm auf das Brett *c t c* auflegen.

Ebenso wie man durch den galvanischen Strom im weichen Eisen einen vorübergehenden kräftigen Magnetismus erzeugen kann, ist man auch im Stande, mit Hülfe desselben Stahlmagnete von großer Stärke hervorzubringen. Eine zu diesem Zweck besonders geeignete Vorrichtung ist die in Fig. 167 abgebildete von Elias angegebene Drahtrolle.

Fig. 167.



Ein ungefähr 25 Fuß langer, $^1/_8$ Zoll dicker Kupferdraht wird mit Seide gehörig umwickelt und dann so zu einer Drahtrolle gewunden, wie die Figur zeigt. Die Höhe der Drahtrolle beträgt 1 Zoll, der Durchmesser der inneren Höhlung $1^1/_2$ Zoll. Die beiden Drahtenden werden, wenn man einen Stahlstab magnetisiren will, mit den Polen eines kräftigen Volta'schen Elementes in Verbindung gebracht.

Während nun ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt, steckt man den zu magnetisirenden Stahlstab in die Rolle und bewegt ihn bis an die Enden auf und nieder, und wenn er sich wieder mit seinem mittleren Theile in der Rolle befindet, wird die Kette geöffnet und dann der Stab vollkommen magnetisirt herausgenommen.

Es ist gut, den Stahlstab oben und unten mit einem Stück weichen Eisen

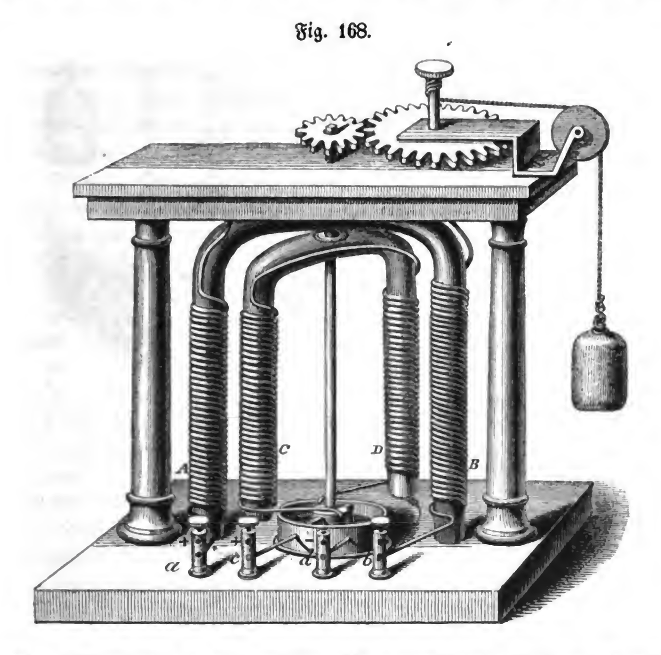
und, wenn der zu magnetisirende Stab hufeisenförmig gebogen ist, ihn während der Operation mit einem Anker zu versehen.

Elias wandte zu seinen Versuchen ein Grove'sches Zink-Platinelement an, welches 1/3 Quadratfuß wirksame Platinoberfläche hatte.

Die Wirkung dieser Vorrichtung ist so kräftig, daß man mit Hülfe derselben die Pole eines starken Magnetstabes alsbald umkehren kann.

Benutzung des galvanischen Stromes als bewegende Kraft. 86
Die kräftigen magnetischen Wirkungen, welche der elektrische Strom hervorzubringen im Stande ist, führten auf die Idee, denselben als bewegende Kraft zu benutzen. Die Fig. 168 zeigt einen Apparat, welcher sehr

Fig. 168.



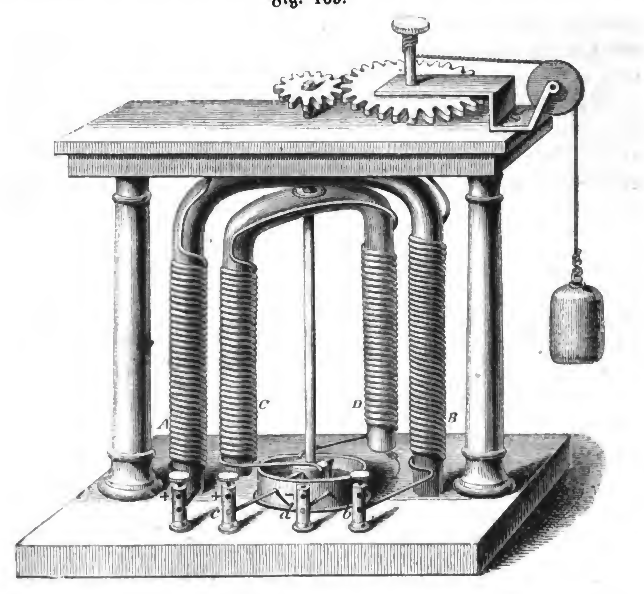
geeignet ist, zu zeigen, wie man durch die magnetisirende Wirkung des galvanischen Stromes eine continuirliche Bewegung hervorbringen kann.

AB ist ein hufeisenförmig gebogenes, an dem Gestelle befestigtes weiches Eisen, welches mit Kupferdraht in der Weise umsponnen ist, wie der Elektromagnet Fig. 164. Das eine Ende des Drahtes geht zu dem Messingsäulchen *a*, das andere nach *b*, in *a* und *b* werden aber die Poldrähte

eines kräftigen galvanischen Elementes eingeschraubt, und dadurch das Eisen *AB* zu einem Magnete gemacht.

Innerhalb des Hufeisens *AB* ist ein ähnliches, kleineres *CD* angebracht,

Fig. 169.



welches um eine vertikale Axe drehbar ist. Auch dieses Eisen *CD* ist mit Kupferdraht in der bekannten Weise umwunden, die beiden Enden dieses Drahtes tauchen aber in eine mit Quecksilber gefüllte hölzerne ringförmige Rinne herab. Diese Rinne ist nun durch zwei Scheidewände von Holz oder Elfenbein in zwei Abtheilungen getheilt; die eine ist durch einen Kupferdraht mit dem Messingsäulchen *c*, die andere mit dem Messingsäulchen *d* in leitender Verbindung (in *c* und *d* werden die beiden Poldrähte einer einfachen Kette angeschraubt). Die beiden Abtheilungen der Rinne sind nun mit Quecksilber so weit gefüllt, daß das Niveau desselben in jeder Abtheilung zwar über die Scheidewände hinausragt, daß es aber doch nicht aus einer Abtheilung in die andere überfließen kann, was sehr leicht möglich ist, weil das Quecksilber in jeder Abtheilung gleichsam einen convexen Tropfen bildet. Die beiden Drahtenden des Elektromagneten *CD* gehen nur gerade so weit herab, daß das eine in das Quecksilber der einen, das andere in das Quecksilber der andern Abtheilung eintaucht, daß sie aber

während der Rotation des Elektromagneten *CD* ohne Hinderniß über die Scheidewände der beiden Abtheilungen hinweggehen.

Bei der in Fig. 169 abgebildeten Stellung des Elektromagneten *CD* geht nun, wenn in *c* der positive und *d* der negative Poldraht eines kräftigen galvanischen Elementes eingeschraubt wird, der positive Strom von *c* in die linke Abtheilung der Rinne, von da durch den Kupferdraht um das bewegliche Hufeisen herum von *D* nach *C*, von *C* aus in die rechte Abtheilung der Rinne und von dieser nach *d*. Bei dieser Stellung wird der Pol *C* von *A*, und *D* von *B* angezogen, wodurch eine rotirende Bewegung des Elektromagneten *CD* eingeleitet wird. Wenn aber nun *C* eben bei *A* und *D* bei *B* ankommt, so gehen die beiden Drahtenden des inneren Elektromagneten über die Scheidewände hinweg; der Strom, welcher *CD* magnetisch macht, wird für einen Moment unterbrochen, sobald aber die Drahtenden aus einer Abtheilung in die andere übergegangen sind, geht der Strom durch den um *CD* gewundenen Kupferdraht in entgegengesetzter Richtung hindurch, der Pol *C* wird nun von *A*, *D* von *B* abgestoßen, während sich *C* und *B*, *D* und *A* anziehen, dadurch wird die Rotation des inneren Elektromagneten fortgesetzt, bis *C* bei *B* und *D* bei *A* ankommt, wo alsdann durch eine abermalige Umkehrung der Pole des inneren Elektromagneten die Rotation desselben in unveränderter Richtung fortgesetzt wird.

An der Umdrehungsaxe des inneren Elektromagneten ist ein Zahnrad befestigt, welches in ein zweites von größerem Halbmesser eingreift. Um die Axe dieses zweiten Zahnrades ist nun eine Schnur geschlungen, die über eine Rolle weggeht, und an der endlich ein Gewicht hängt, welches durch die Rotation des inneren Elektromagneten gehoben wird.

Dieser Apparat ist eigentlich nur eine Vervollkommnung des von Ritchie construirten Rotationsapparates, bei welchem ein Stahlmagnet die Stelle des äußeren Elektromagneten ersetzt, während das rotirende Eisen die Form eines geraden Stabes hat, welcher mit einer Drahtwindung umgeben ist, deren Enden in eine Quecksilberrinne eintauchen, wie in unserm Apparate, und dessen Rotation ebenfalls durch die nach jeder halben Umdrehung erfolgende Umkehrung der Pole unterhalten wird.

Die bis jetzt namentlich von Jacobi in Petersburg und von Wagner in Frankfurt gemachten Versuche, um den galvanischen Strom praktisch als bewegende Kraft anzuwenden, haben bis jetzt die gewünschten Resultate nicht geliefert.

Elektrische Telegraphen. Eine andere praktische Anwendung, welche man von der schnellen Verbreitung elektrischer Ströme durch isolirte Metalldrähte und der Magnetisirung des Eisens durch elektrische Ströme gemacht hat, sind die elektrischen Telegraphen. Mehrere Physiker 87

in Deutschland, besonders Steinheil, haben verschiedene höchst sinnreiche Vorrichtungen der Art in Vorschlag gebracht und ausgeführt, wir wollen uns hier jedoch darauf beschränken, den für die Demonstration wenigstens ziemlich einfachen elektrischen Telegraphen Wheatstone's zu beschreiben.

Auf einem Brettchen Fig. 170. sind zwei hufeisenförmig gebogene Stücke von weichem Eisen befestigt, welche mit einem durch Seide isolirten Kupferdraht in der Weise umwunden sind, daß sie magnetisch werden, sobald ein galvanischer Strom diese Windungen durchläuft, daß sie aber augenblicklich ihren Magnetismus verlieren, sobald der Strom unterbrochen wird.

Das eine Ende des Drahtes, welcher um das links gelegene Hufeisen gewunden ist, geht unter dem Brettchen her zu dem Messingsäulchen *a*, das andere Ende zum Säulchen *b*.

In *a* sowohl als in *b* ist nun ein Draht eingeschraubt; diese Drähte führen zu dem oft Stunden weit entfernten Orte, an welchem sich eine galvanische Kette befindet. Bringt man den in *a* eingeschraubten Leitungsdraht mit dem positiven, den in *b* eingeschraubten Draht mit dem negativen Pole jener galvanischen Kette in Berührung, so wird das Hufeisen sogleich magnetisch; man braucht nur die Berührung des einen dieser Drähte mit dem einen Pol der Kette abwechselnd herzustellen und zu unterbrechen, um den Magnetismus im Hufeisen abwechselnd zu erzeugen und wieder zu vernichten.

Von dem Orte, an welchem die galvanische Säule aufgestellt ist, geht aber ein dritter Draht aus, welcher zum Messingsäulchen *c* führt; nach *b* und *c* laufen aber unter dem Brette her die Enden der Drahtwindungen, welche um das rechtsgelegene Hufeisen herumgehen; dieses kann also ebenfalls durch eine ganz entfernt bei der galvanischen Kette befindliche Person abwechselnd magnetisch und unmagnetisch gemacht werden.

Dicht vor den Polen des Hufeisens auf der rechten Seite ist nun eine Eisenplatte angebracht, welche an ihrem untern Ende um zwei Zapfen, wie eine Thür um die Angel, beweglich ist; an dieser Eisenplatte ist ein in die Höhe gehender Stab befestigt, welcher oben den horizontalen Querstab *d* trägt.

Sobald das Hufeisen magnetisch wird, wird die Eisenplatte angezogen, sobald aber der magnetische Zustand des Hufeisens wieder aufhört, wird die Eisenplatte durch eine schwache Feder, welche gegen den aufwärts gehenden Stab drückt, wieder von den Polen des Hufeisens entfernt.

Durch eine abwechselnde Unterbrechung und Wiederherstellung des um das Hufeisen herumgeleiteten Stromes wird also der horizontale Querstab *d* hin- und herbewegt. An jedem Ende dieses Querstabs befindet sich nun eine kleine Kugel, welche bei jedem Hin- und Hergang an ein Glöckchen anschlagen, welches unsere Figur deutlich zeigt.

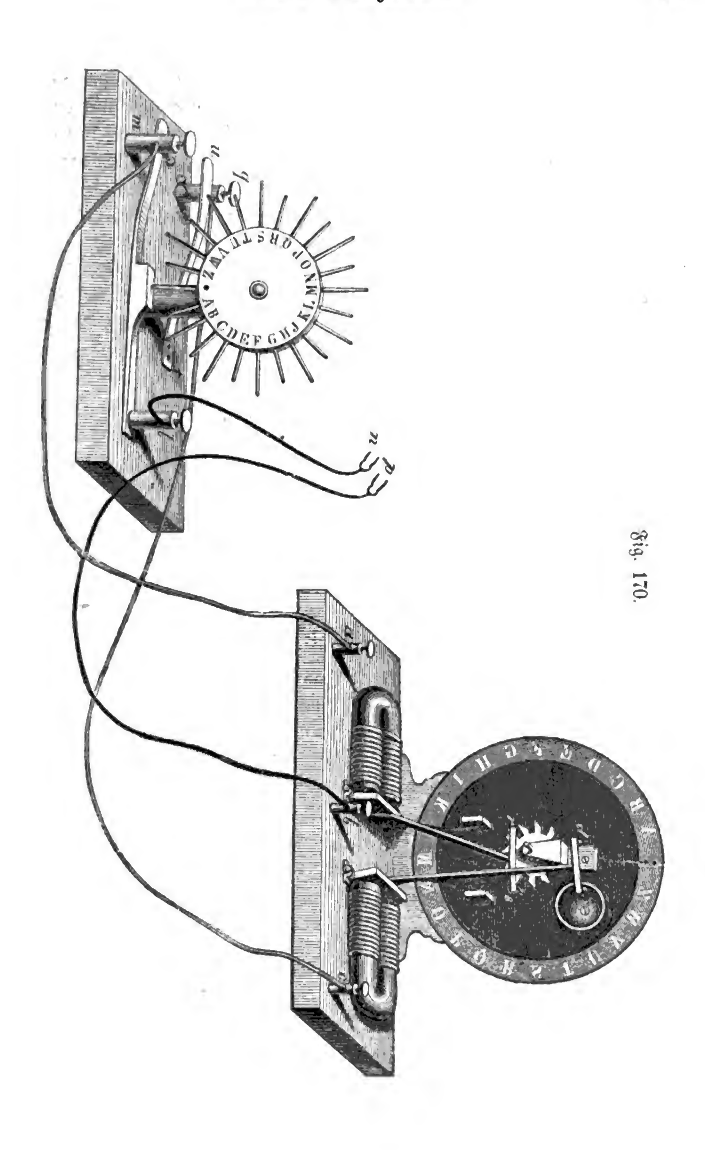


Fig. 170.

Wenn die an der Volta'schen Kette stehende Person den Strom abwechselnd herstellt und unterbricht, so ist sie also im Stande, dadurch Signale an dem weit entfernten Glöckchen zu geben.

Dem andern Hufeisen gegenüber ist eine ähnliche Eisenplatte mit einem Stabe befestigt, welcher den Querstab *rs* trägt. An jedem Ende desselben ist ein Stäbchen angebracht; bei dem Hin- und Hergange der Eisenplatte greift nun abwechselnd das eine und das andere Stäbchen in die Zähne eines Rades ein, und zwar ist die Einrichtung so getroffen, daß bei jedem Hin- und Hergang das Rad um 1 Zahn weiter geschoben wird. Das Rad hat 12 Zähne.

Wenn also die Person an dem Volta'schen Apparat die Kette durch die nach *b* und *a* gehenden Drähte schließt, so wird das Zahnrad um ½ Zahn weiter geschoben, bei der Oeffnung der Kette abermals um ½ Zahn u. s. w.; jede Schließung der Kette schiebt das Rad um ½ Zahn und jede Oeffnung der Kette abermals um ½ Zahn weiter.

Die Axe unsers Zahnrades geht nun durch den Mittelpunkt einer Scheibe von Eisenblech, an welcher auch das Glöckchen befestigt ist. Wir sehen in unserer Figur diese Scheibe von der hinteren Seite. Auf dem Rande dieser Scheibe, und zwar auf der vorderen uns abgewendeten Seite, sind nun 24 Zeichen, ein Punkt und 23 Buchstaben des Alphabets (*x* und *y* fehlen) in gleichen Abständen angebracht. Unsere Figur zeigt diese Buchstaben so, wie man sie sehen würde, wenn der Rand der Scheibe durchsichtig wäre.

Die durch den Mittelpunkt der Scheibe gehende Axe, um welche sich das Zahnrad dreht, trägt an der vordern Seite der Scheibe einen Zeiger, welcher durch die Fortschiebung des Zahnrades ebenfalls fortgeschoben wird; und zwar wird dieser Zeiger bei jeder Schließung der Kette um einen, und bei jedem Oeffnen derselben abermals um einen Buchstaben weiter geschoben.

Wenn der Zeiger auf . gestellt ist, so wird er bei dem ersten Schließen der Kette auf *A* springen, bei der folgenden Oeffnung der Kette aber springt er auf *B*, bei einer abermaligen Schließung auf *C* u. s. w. Durch abwechselnde Schließung und Unterbrechung der Kette kann also die an dem Volta'schen Apparat stehende Person den Zeiger bis zu jedem beliebigen Buchstaben springen lassen, alsdann mit dem Glöckchen ein Zeichen geben und so fort jedes beliebige Wort buchstabiren.

Hierbei wäre aber sehr leicht ein Irrthum möglich; wenn sich die signalisirende Person im Zählen der Schließungen und Unterbrechungen irrt, so steht der Zeiger auf einem andern als dem beabsichtigten Buchstaben.

Um solche Irrthümer zu vermeiden, ist dicht bei der Volta'schen Kette noch ein Apparat eingeschaltet, welchen der Strom durchlaufen muß, und welcher dazu dient, die Schließungen und Unterbrechungen der Kette gehörig zu reguliren.

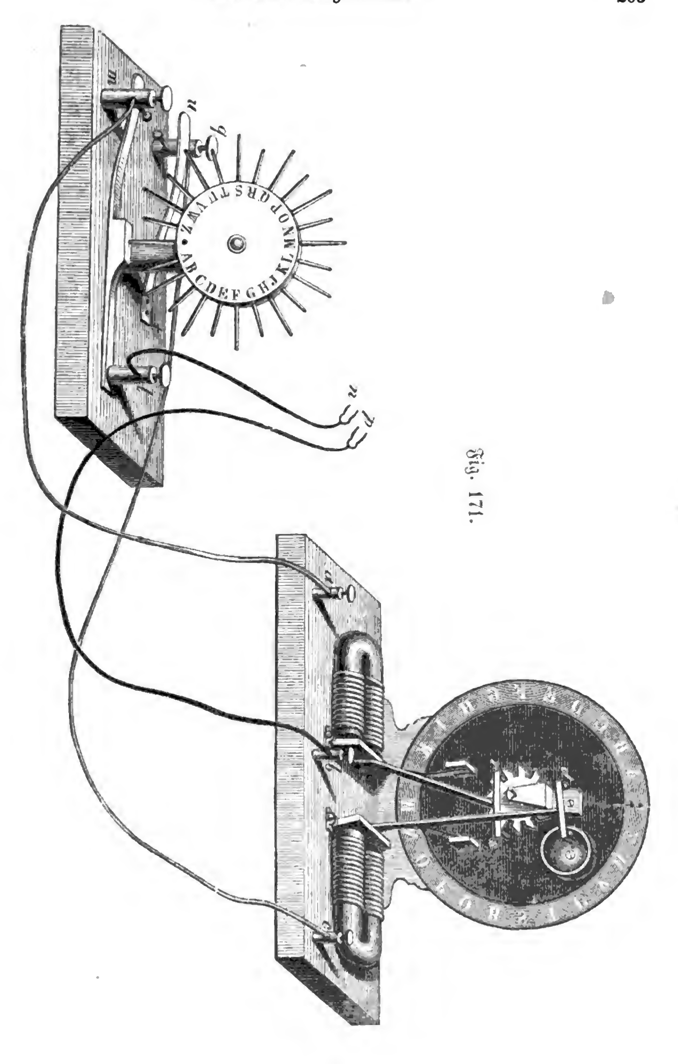


Fig. 171.

Dieser Apparat ist in Fig. 170 unten links dargestellt; *p* und *n* sind die beiden Pole der Volta'schen Kette, von *p* geht ein übersponnener Kupferdraht direkt zu dem Messingsäulchen *b* des Apparates, an welchem die buchstabirten Worte abgelesen werden. Dieser Draht ist in unserer Figur ganz schwarz. Vom negativen Pol der Kette geht ein kurzer Draht zum Säulchen *l* des Regulirungsapparates. An diesem Apparat befinden sich nun noch zwei andere Säulchen *m* und *q*. In *m* wird der von *a*, in *q* wird der von *c* kommende Kupferdraht eingeschraubt.

Durch einen unter dem Brettchen herlaufenden Draht ist *l* mit der Messingfeder *tu* in leitender Verbindung. Wird diese Feder niedergedrückt, so kommt sie mit einem aus dem Säulchen *q* hervorragenden Knöpfchen in Berührung, der Strom geht dann von *p* nach *b*, von *b* um das rechtsliegende Hufeisen herum nach *c*, von *c* nach *q*, von *q* durch die Feder nach *l*, von *l* nach *n*. Läßt man die Feder *tu* gehen, so ist der Strom unterbrochen.

Von dem Säulchen *l* geht nun auch eine Messingfeder aus, welche, wenn sie nicht niedergedrückt ist, einen am Säulchen *m* hervorragenden Knopf berührt. Ist dies der Fall, so ist die Kette geschlossen, der Strom geht vom positiven Pol durch den schwarzen Draht nach *b*, von da um das links liegende Hufeisen herum nach *a*, von *a* nach *m*, von *m* durch die Messingfeder nach *l*, und von *l* endlich nach dem negativen Pol *n* der Kette.

Durch Niederdrücken der erwähnten Messingfeder wird dieser Strom unterbrochen.

In der Mitte über der von *l* nach *m* gehenden Messingfeder befindet sich eine um eine horizontale Axe drehbare Scheibe, an deren Rande 24 abwechselnd lange und kurze Stäbchen angebracht sind. Eines der langen Stäbchen ist durch . bezeichnet, die anderen durch Buchstaben, und zwar sind die mit *A, C, E, G, I* u. s. w. bezeichneten Speichen kurz, die mit *B, D, F, H, K* u. s. w. bezeichneten Speichen aber lang.

Wenn die Scheibe so gestellt ist, daß eine lange Speiche vertikal nach unten gekehrt ist, so drückt dieselbe so auf die Messingfeder, daß sie niedergehalten und dadurch der Strom, welcher um das links liegende Hufeisen herumgeht, unterbrochen ist.

Unsere Figuren zeigen den Apparat, wie er hergerichtet seyn muß, wenn das Signalisiren beginnen soll. Die Kette ist an keiner Stelle geschlossen.

Zuerst wird nun durch Niederdrücken der Feder *tu* ein Signal mit dem Glöckchen gegeben, um die an der andern Station sich befindende Person aufmerksam zu machen. Alsdann wird die Scheibe so gedreht, daß zunächst die Speiche *A* vertikal nach unten geht; da sie kurz ist, so ist die Folge davon, daß die von *l* nach *m* gehende Feder in die Höhe geht, wo-

durch die Kette geschlossen wird, wobei dann der Zeiger von . auf *A* springt. Dreht man die Scheibe weiter, so daß die lange Speiche *B* gerade nach unten gerichtet ist, so wird die Kette wieder unterbrochen, der Zeiger springt auf *B*. Durch Drehen der Scheibe kann man also den Zeiger auf jeden beliebigen Buchstaben bringen, der Zeiger steht immer auf dem Buchstaben, welcher die vertikal nach unten gerichtete Speiche bezeichnet.

Hat man den Zeiger auf den beabsichtigten Buchstaben gebracht, so wird durch Niederdrücken der Feder *tu* ein Zeichen mit der Glocke gegeben; darauf wird die andere Feder mit der Hand ganz niedergedrückt, um die Scheibe bequem auf den Nullpunkt zurückstellen zu können. Ist dies geschehen, so wird der Beobachter davon durch ein abermaliges Zeichen mit dem Glöckchen benachrichtigt, worauf er dann den Zeiger auch auf . zurückzustellen hat. Nun ist der Apparat wieder zu Signalisirung eines zweiten Buchstaben vorbereitet.

88 **Gesetze der magnetisirenden Wirkungen des elektrischen Stromes** Die Gesetze, nach welchen die Stärke des im weichen Eisen durch den elektrischen Strom erregten Magnetismus von den einzelnen hier in Betracht kommenden Elementen, der Stärke des Stromes, der Dicke und Leitungsfähigkeit des Drahtes, der Weite der Windungen u. s. w. abhängt, sind von Jakobi und Lenz auf experimentalem Wege untersucht worden. Wir können hier nur die Resultate ihrer trefflichen Arbeiten anführen, weil die Methode, nach welcher sie diese Gesetze ermittelten, ohne Kenntniß der Inductionserscheinungen, welche erst weiter unten besprochen werden, nicht verstanden werden kann. Die erwähnten Gesetze sind folgende:

1) **Die Größe des Magnetismus ist bei übrigens gleichen Umständen den angewandten Strömen proportional**, d. h. wenn man um ein weiches Eisen einen Spiraldraht herumführt und durch denselben der Reihe nach verschieden starke Ströme leitet, so wird die Stärke des Magnetismus im Eisen der Stärke dieses Stromes proportional seyn; hätte man also etwa eine Tangentenboussole in den Schließungskreis eingeschaltet, so wird die Stärke des Magnetismus im Eisen der Tangente des beobachteten Ablenkungswinkels an der Boussole proportional seyn. Ein solches Resultat ließ sich wohl erwarten; wenn der Strom auf einen schon gebildeten Magnete eine doppelte, dreifache Wirkung hervorbringt, so wird er auch auf weiches Eisen eine zweimal, dreimal u. s. w. größere magnetisirende Wirkung ausüben können.

2) Die Dicke des Spinaldrahtes hat keinen Einfluß auf die Stärke des erregten Magnetismus, wenn nur die Stärke des Stromes unverändert bleibt, d. h. wenn man um ein weiches Eisen durch einen dicken Draht einen elektrischen Strom leitet, welcher in einer eingeschalteten Tangentenboussole

einen bestimmten Ausschlag giebt, so wird der Magnetismus im Eisen gerade ebenso stark, als ob man ebenso viele und eben solche Windungen von dünnem Draht um das Eisen herumgewunden und durch diese Spirale einen Strom geleitet hätte, welcher an der eingeschalteten Tangentenboussole denselben Ausschlag giebt. Freilich muß man, um durch den dünneren Draht bei gleicher Länge des Schließungsbogens einen Strom von gleicher Stärke hindurchzutreiben, einer Volta'schen Kette von mehr Elementen anwenden, als bei dem dickeren Drahte, oder bei gleichen Ketten muß für den dünneren Draht die Länge des Schließungsbogens verkürzt werden.

3) Die Weite der Windungen hat, wenn das Eisen weit genug aus denselben hervorragt, keinen Einfluß auf die Stärke des Magnetismus; wenn man also auf die Mitte des Eisens einige Drahtwindungen unmittelbar aufwindet, wie Fig. 172, oder wenn man um dasselbe Eisen ebenso

Fig. 172.

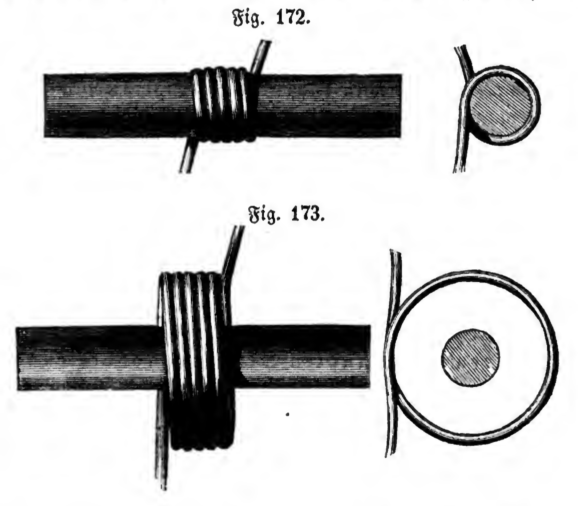


Fig. 173.

viel Windungen in größerer Entfernung hereinführt, wie Fig. 173, so wird in beiden Fällen das Eisen gleich stark magnetisch, wenn gleich starke Ströme durch die Windungen hindurchgehen; nur wenn das Eisen nicht aus den Windungen hervorragt, ist die Wirkung der engen Windungen etwas größer als die der weiteren.

4) Die Totalwirkung sämmtlicher Windungen ist der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich.

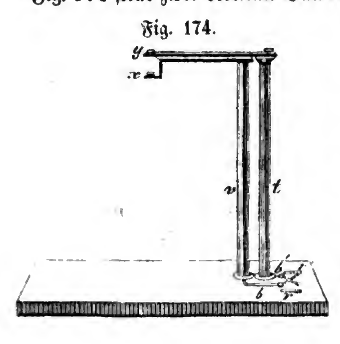
5) Der Magnetismus, den Eisenstäbe von gleicher Länge bei gleichen Strömen einnehmen, ist ihren Durchmessern proportional.

Aus den vorgetragenen Sätzen folgt, daß man mit irgend einem galvanischen Elemente beliebig starke Magnete machen kann, wenn man nur die Dimensionen vergrößert, denn man braucht ja nur dickere Eisenstäbe anzuwenden, man braucht nur bei doppeltem, dreifachen u. s. w. Querschnitte des Drahtes doppelt, dreimal so viel Drahtwindungen um das Eisen herum zu führen, um eine doppelte, dreifache u. s. w. Wirkung zu haben; denn wenn man durch zweimal, dreimal so viel Windungen die Länge des Schließungsdrahtes eben so vielmal vergrößert, so würde bei gleicher Drahtdicke die Stärke des Stromes geschwächt und auf der einen Seite durch den schwächern Strom verloren gehen, was auf der andern Seite durch die größere Anzahl der Windungen gewonnen wurde; wenn man aber den Querschnitt des Drahtes in demselben Verhältnisse vergrößert, in welchem die Länge des Schließungsdrahtes wächst, so bleibt der Strom gleich stark, und die Wirkung wächst also in dem Verhältnisse, in welchem die Anzahl der Windungen wächst.

Richtung der Ströme unter dem Einfluß des Erdmagnetismus. 89 Da der Strom eine Wirkung auf den Magneten hervorbringt, so konnte man nicht zweifeln, daß auch umgekehrt die Magnete eine gleiche Wirkung auf den Strom ausüben, ihn also auch zu richten und auf verschiedene Weise zu bewegen im Stande ist. Unter allen diesen umgekehrten Erscheinungen ist die Einwirkung des Erdmagnetismus auf die Ströme am interessantesten, und man hatte schon lange versucht, bewegliche Ströme herzustellen, welche, sich selbst überlassen, alle Erscheinungen der Nadel zeigen sollten. Alle diese Versuche aber mißlangen, weil man dem Strome die nöthige Beweglichkeit nicht geben konnte. Bald aber wurden alle diese Schwierigkeiten von Ampère durch eine sinnreiche Aufhängung überwunden, die sich auf alle Ströme anwenden läßt.

Fig. 174 stellt zwei vertikale Säulen von Messing dar, welche auf einem

Fig. 174.



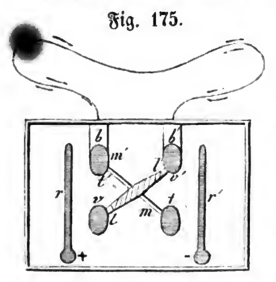
Fuße von Holz befestigt sind; oben tragen sie horizontale Arme, die mit den Quecksilbernäpfchen x und y endigen, deren Mittelpunkte genau vertikal unter einander stehen. Da, wo sich die horizontalen Arme zu berühren scheinen, sind sie durch isolirende Substanzen getrennt, wenn also die Füße der Säulen mit den beiden Polen der Kette in Verbindung gesetzt werden, so gelangt eine der electrischen Flüssigkeiten zum Näpfchen x, die anderere nach y.

Eins dieser Näpfchen kann man das positive, das andere das negative nennen.

Nichts scheint leichter, als die Elektricitäten zum Fuße der Säulen zu leiten; weil es jedoch oft nöthig ist, die Verbindungen rasch aufzuheben und in entgegengesetzter Weise wieder herzustellen, ohne den Apparat zu stören, so hat Ampère eine sinnreiche Vorrichtung ersonnen, welche ihren Zweck auf eine sehr bequeme Weise erfüllt.

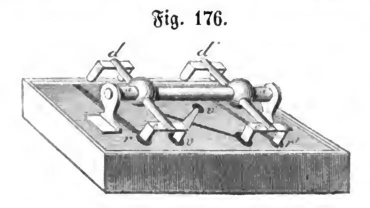
$r\,r'$ sind zwei Rinnen, welche einige Linien tief aus einem Brette ausgehöhlt sind, welches man auf den Fuß der verschiedenen elektromagnetischen Apparate stellen kann. v und v', t und t' sind vier Höhlungen, welche diagonal durch Kupferstreifen mit einander verbunden sind, nämlich v und v' durch $l\,l'$, t und t' durch $m\,m'$; am Kreuzungspunkte sind die Streifen durch einen nichtleitenden Körper getrennt. Die Rinnen und Löcher sind gehörig gefirnißt, damit das Holz die Elektricität nicht ableite, und mit Quecksilber gefüllt.

Fig. 175.



Taucht nun der positive Poldraht in die Rinne r, der negative in die Rinne r', so kann die Elektricität in keines der vier Löcher übergehen; wenn man aber eine Verbindung zwischen r und v und eine andere Verbindung zwischen r' und t herstellt, so verbreitet sich die Elektricität weiter von v nach v', von t nach t'; der Metallstreifen b' also, welcher mit v' in Verbindung ist, wird positiv, der Streifen b aber, welcher mit t' in leitender Verbindung steht, wird negativ. Stellt man aber eine leitende Verbindung zwischen r und t' und zwischen r' und v' her, so wird b' negativ, b positiv. Sind nun die Streifen b und b' durch einen Metallbogen verbunden, so wird der positive Strom entweder von b' nach b, oder umgekehrt von b nach b' gehen, je nachdem die eine oder die andere der eben besprochenen Verbindungsweisen hergestellt wird. Wirft man nun einen Blick auf den Schwengel, Fig. 176, so übersieht man leicht den Mechanismus, von dem noch zu reden übrig ist. Dieses Stück ist von Holz, läßt sich um die Axe $a\,a'$ drehen und trägt 4 metallene Leitungsbogen, c und c', d und d'. Wie es eben die Figur zeigt, ist r und v durch den Bogen c verbunden, t und

Fig. 176.



r durch den Bogen c'; die Metallbogen d und d' sind bei dieser Stellung in die Höhe gehalten. Werden aber die vorderen Hebelarme aufgezogen, die hinteren niedergedrückt, so kommen die Bügel c und c' aus den Vertiefungen r, v, t und r' heraus, hier ist also die Verbindung unterbrochen, auf der andern Seite aber wird r mit t' durch d und r' mit v' durch d' in leitende Verbindung gebracht.

Dieser Apparat ist, wie man Fig. 174 sieht, am Fuße der beiden Säulen v und t angebracht, nur ist der Deutlichkeit wegen in dieser Figur der bewegliche Theil weggeblieben. Man sieht, daß jeder der Streifen b und b' der Fig. 174 zu dem Fuße einer Säule führt. Je nachdem man also dem Schwengel die eine oder die andere Stellung giebt, wird das Näpfchen x entweder positiv oder negativ.

Dieser Apparat ist unter dem Namen des Gyrotrops bekannt.

Dies Alles vorausgesetzt, wollen wir nun den kreisförmigen Kupferdraht, Fig. 177, untersuchen. Da, wo sich die beiden Drahtenden zu berühren scheinen, sind sie durch eine isolirende Substanz getrennt; sie sind oben umgebogen und mit Stahlspitzen versehen, die in die Näpfchen x und y, Fig. 174, eingetaucht werden. Die eine Spitze geht bis auf den Boden des Näpfchens und ruht hier auf einer kleinen Glasplatte, die andere Spitze taucht nur in das Quecksilber ein. Durch diese Aufhängung ist der Draht ungemein leicht beweglich.

Fig. 177.



Fig. 178.

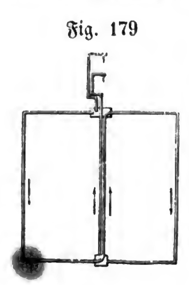
Läßt man nun einen Strom hindurchgehen, so dreht sich der Draht, um nach einigen Oscillationen in einer bestimmten Lage stehen zu bleiben, in die er auch stets wieder zurückkehrt, wenn man ihn daraus entfernt. Kehrt man den Strom mit Hülfe des Gyrotrops um, so macht der Kreis eine halbe Umdrehung und kommt alsdann wieder zur Ruhe. In beiden Gleichgewichtslagen steht der Kreis so, daß seine Ebene mit der des magnetischen Meridians einen rechten Winkel macht. **Ein stabiles Gleichgewicht findet Statt, wenn in der untern Hälfte des Kreises der positive Strom von Osten nach Westen geht.**

Wendet man statt des kreisförmigen Drahtes einen rechtwinklig gebogenen an, wie Fig. 178, oder giebt man ihm irgend eine andere Gestalt, so bleiben die Resultate doch stets dieselben.

Wenn sich die Wirkung der Erde selbst neutralisiren soll, so muß man einen Draht in der Weise zurichten, daß er zu beiden Seiten der Umdre-

hungsaxe symmetrisch ist und von dem Strome in derselben Richtung durchlaufen wird, wie dies bei dem Drahte Fig. 179 der Fall ist. Ein solches Rechteck hat gar keine richtende Kraft. Der Grund davon ist leicht einzusehen; der Strom der einen Seite hebt die Wirkungen des Stromes der andern Seite auf.

Fig. 179



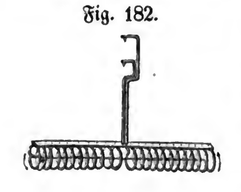
De La Rive hat mehrere recht sinnreiche Apparate angegeben, welche dazu dienen, zu zeigen, wie selbst schwache Ströme durch Magnete, ja schon durch den Erdmagnetismus gerichtet werden können. Diese kleinen Apparate sind schwimmende Ströme, deren Gestalt man nach Belieben ändern kann; sie sind Fig. 180 und Fig. 181 dargestellt. In einem Stücke Kork, welches auf gesäuertem Wasser schwimmt, ist ein Stück Zink, z, und ein Stück Kupfer befestigt, und beide sind durch einen Kupferdraht verbunden; dieser Draht ist entweder kreisförmig, wie Fig. 180, oder man kann ihm verschiedene Windungen geben, etwa wie Fig. 181. Auf das Wasser gesetzt, bildet sich ein Strom, der vom Zink im Wasser zum Kupfer und dann durch den Draht in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung hindurchgeht. Dieser Strom ist nun schon stark genug, um durch den Erdmagnetismus gerichtet zu werden, noch mehr wird er also durch einen Magneten gerichtet, angezogen und abgestoßen.

Fig. 180. Fig. 181.



Weil sich ein geschlossener kreisförmiger Strom, welcher um eine verticale Axe drehbar ist, rechtwinklig zum magnetischen Meridian stellt, so folgt, daß eine Verbindung unter sich paralleler Kreise, die in derselben Richtung durchströmt werden, sich ebenso stellen muß. So muß sich denn auch der Schraubendraht, Fig. 182, an dem Ampère'schen Stativ aufgehängt und von einem Strome durchlaufen, so stellen, daß die Axe des Schraubendrahtes in die Richtung der Declinationsnadel fällt.

Fig. 182.



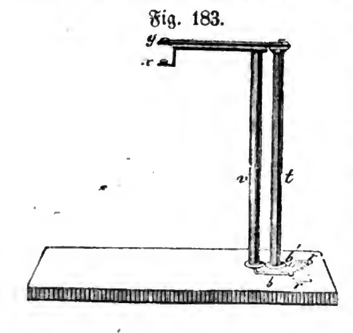
Es geht daraus nicht allein hervor, daß auf diese Weise die Declinationsnadel durch einen Schraubendraht nachgeahmt werden kann, sondern auch, daß der Südpol, d. h. der nach Norden gerichtete, derjenige ist, für welchen der aufsteigende Strom auf der rechten Seite liegt, wenn

man ihn von seiner Seite her betrachtet. Sieht man den Schraubendraht von *a* aus an, so hat man in der That den aufsteigenden Strom zur Rechten, den niedersteigenden zur Linken; betrachtet man aber den Schraubendraht in der Richtung von *b* her, so hat man den aufsteigenden Strom zur Linken; *a* ist also der Südpol und muß sich nach Norden richten. Ebenso kann man auch sagen, daß, wenn sich eine Declinationsnadel in die Gleichgewichtslage gestellt hat, der untere Strom von Osten nach Westen geht.

Das Brettchen, welches den verschiedenen Windungen des Schraubendrahtes Fig. 182 zur Befestigung dient, besteht aus einer nichtleitenden Substanz.

Wenn man den Schraubendrähten, welche wir so eben betrachtet haben, einen Magnetstab nähert, so kann man ganz ähnliche Erscheinungen beobachten, als ob man den Magnetstab einer Declinationsnadel näherte. Ueberhaupt werden natürlicher Weise alle bisher betrachteten Apparate auch durch Magnetstäbe afficirt werden. Will man aber den Einfluß des Stabes ganz rein, d. h. ganz ohne Einwirkung des Erdmagnetismus haben, so muß man solche Apparate anwenden, in welchen sich die Wirkung des Erdmagnetismus von selbst aufhebt, z. B. das doppelte Rechteck, Fig. 179, wenn es an dem Apparate Fig. 183 aufgehängt ist. Das Rechteck bleibt in allen Lagen im Gleichgewichte; wenn man ihm aber den einen Pol eines Magneten nähert, so wird es bald angezogen, bald abgestoßen. Wenn man den Versuch macht, so ist man überrascht, einmal Anziehung, dann wieder Abstoßung wahrzunehmen, während man die Stellung des Magneten kaum verändert hat. Wenn man den einen Pol nur etwas rechts oder links bewegt, wenn man ihn nur etwas nähert oder entfernt, so bemerkt man oft sogleich eine Umkehrung der Wirkung. Alle diese Erscheinungen, welche dem Ansehen nach so verwickelt sind, lassen sich nach dem in Nro. 73 angedeuteten allgemeinen Principe sehr leicht erklären.

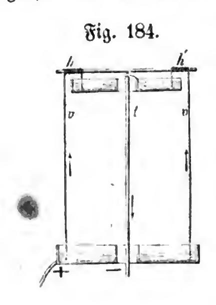
Fig. 183.



Um sich von der Wirkung der Erde auf Ströme genügend Rechenschaft geben zu können, muß man die Wirkung auf vertikale und auf horizontale Ströme besonders untersuchen. Für vertikale Ströme kann man sich

des Fig. 184 dargestellten Apparates bedienen. Er besteht aus zwei cylindrischen Gefäßen von Kupfer; der Durchmesser des untern ist etwas größer als der des obern. In der Mitte haben beide Gefäße eine cylindrische Oeffnung, durch welche ein Stab t hindurchgeht, der oben mit einem Quecksilbernäpfchen endigt. Das Querstäbchen $h\ h'$ ist aus einer nichtleitenden Substanz verfertigt und hat in der Mitte eine Spitze, mittelst welcher es auf dem Boden des Schälchens aufsitzt und sehr leicht drehbar ist. Das untere Gefäß sowohl wie das obere sind mit gesäuertem Wasser angefüllt. Die Drähte v und v' sind mit ihrem untern Ende in die Flüssigkeit des untern Gefäßes eingetaucht; oben ist jeder Draht mit einigen Windungen an dem Querstabe $h\ h'$ befestigt und ragt dann in das saure Wasser des obern Gefäßes herab. Das untere Gefäß ist durch einen Draht mit dem einen, der Stab t mit dem andern Pole der Kette in Verbindung gesetzt; tritt also der positive Strom in das untere Gefäß, so steigt er von da durch die Drähte v und v' in die Höhe, tritt dann in das saure Wasser des obern Gefäßes, von da durch einen Draht in das Näpfchen, um endlich durch den Stab t wieder hinabzugehen.

Fig. 184.



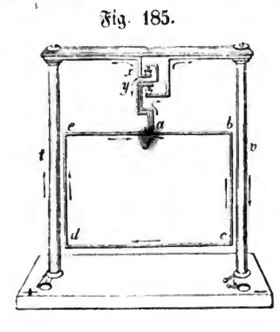
Nimmt man das obere oder untere Ende eines der beiden Drähte v oder v' aus dem sauren Wasser des obern oder untern Gefäßes, so kann der Strom nur durch einen Draht hinaufsteigen. In diesem Falle stellt sich das System so, daß seine Ebene auf der des magnetischen Meridians rechtwinklig und daß, bei aufsteigendem Strome, der Draht, den er durchläuft, westlich vom Stabe t steht. Circulirt der Strom in entgegengesetzter Richtung, so stellt sich der Draht, indem er niedersteigt, auf die Ostseite.

Wenn beide Drähte oben und unten eingetaucht sind, wie es die Figur zeigt, so hat das System keine richtende Kraft mehr, es befindet sich in jeder Lage im Gleichgewichte, denn auf jeden Draht wirkt eine Kraft, die der auf den andern wirkenden gleich und entgegengesetzt ist.

90 **Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander.** Die gegenseitige Wirkung, welche Ströme auf einander ausüben, wurde von Ampère entdeckt, und fast Alles, was man darüber weiß, verdankt man seinen Untersuchungen. Wenn es auch nicht möglich ist, in ein Lehrbuch die ganze Ampère'sche Theorie aufzunehmen, so werden wir doch die wichtigsten Versuche anführen, auf welche sie sich stützt, und die Grundsätze derselben mittheilen.

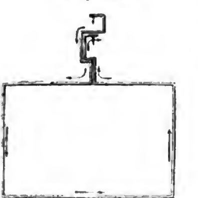
Zwei parallele Ströme üben immer eine Wirkung auf einander aus, welche mehr oder weniger lebhaft ist, je nach ihrer Entfernung, ihrer Intensität und ihrer Länge. Betrachtet man nun die Richtung der hervorgebrachten Bewegung, so ist diese folgendem einfachen Gesetze unterworfen: Zwei parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie sich in gleicher Richtung bewegen, sie stoßen sich aber ab, wenn ihre Richtung entgegengesetzt ist.

Fig. 185.



Das Gesagte läßt sich durch folgenden Apparat nachweisen: *abcdef* ist ein Rechteck von Kupferdraht, welches in den Quecksilbernäpfchen x und y aufgehängt ist. Der Strom steigt durch die Säule t auf, durchläuft das Rechteck in der Richtung der Pfeile und steigt in der Säule v herab. Der Strom in der Säule t hat mit dem in dem Drahtstücke $d\ e$ gleiche Richtung; ebenso verhält es sich mit dem Strome in $b\ c$ und v. Bringt man nun das Rechteck aus der in der Fig. 185 dargestellten Lage heraus, so kehrt es immer wieder in dieselbe zurück, weil $d\ e$ von t und $b\ c$ von v angezogen wird.

Fig. 186.



Setzt man das Rechteck Fig. 186 an die Stelle des in Fig. 184 aufgehängten, so hat der Strom im Drahte die entgegengesetzte Richtung von dem in der zunächst liegenden Säule, und man beobachtet eine Abstoßung; parallele entgegengesetzte Ströme stoßen sich also ab.

F. 187. F. 188.

Wenn ein Draht umgebogen ist, wie Fig. 187, so daß zwei parallele Ströme in entgegengesetzter Richtung dicht neben einander herlaufen, so ist seine Wirkung Null.

Die Wirkung eines krummlinigen Stromes ist gleich der Wirkung eines geradlinigen, welcher die Länge von einem Endpunkte des krummen bis zum andern und gleiche Intensität hat, vorausgesetzt, daß die Wirkung auf eine Entfernung ausgeübt wird, welche sehr groß ist im Vergleich zu der Größe der Biegungen. Es läßt sich dies mit Hülfe des Drahtes Fig. 188 nachweisen. Der Draht muß mit Seide umwickelt seyn, damit an Stellen, wo die

Windungen etwa den geraden Strom berühren sollten, kein Uebergang des Stromes stattfinden kann. Wenn man nun durch den geraden Draht einen Strom aufsteigen läßt, welcher durch den gebogenen Theil wieder niedergeht, so übt dieses System gar keine Wirkung auf das Rechteck Fig. 185 aus, die Wirkungen des einen Stromes heben also die des andern auf.

Es geht daraus hervor, daß man einen krummlinigen Strom von geringer Ausdehnung immer durch seine Corde *a b*, Fig. 189, oder durch

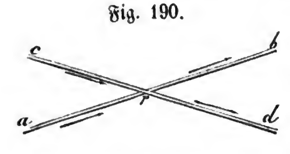
Fig. 189.

seine beiden Projectionen *a c* und *b c*, welche irgend einen Winkel mit einander machen, ersetzen kann. Wenn der gebogene Draht Fig. 187 spiralförmig um den geraden herumgewunden gewesen wäre, so würde er doch noch dieselbe Wirkung auf das Rechteck hervorgebracht haben, d. h. die Wirkung des gerade aufsteigenden Stromes würde durch die Wirkung des spiralförmig niedergehenden neutralisirt worden seyn; daraus darf man aber nicht schließen, daß ein spiralförmiger Draht immer durch einen geraden Draht ersetzt werden kann, sondern nur, daß sie in diesem speciellen Falle gleiche Wirkung hervorbringen.

Wir nennen gekreuzte Ströme diejenigen, die nicht parallel sind, mögen sie nun in einer Ebene liegen und ihre Richtungen sich schneiden, oder mögen sie in verschiedenen Ebenen liegen, so daß sie sich nicht treffen. Im ersten Falle ist der Kreuzungspunkt derjenige, in welchem sie sich schneiden, im zweiten Falle ist es ein Punkt der kürzesten Entfernung beider Ströme. Zwei gekreuzte Ströme streben sich immer parallel zu stellen, um sich nach einer Richtung zu bewegen, oder mit anderen Worten: es findet Anziehung zwischen den Theilen des Stromes Statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und dann wieder zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen. Abstoßung aber findet Statt zwischen einem Strome, welcher sich nach dem Kreuzungspunkte hin bewegt, und einem andern, welcher von ihm weggeht.

Sind z. B. *a b* und *c d*, Fig. 190, zwei Ströme, deren Kreuzungspunkt ist, so findet eine Anziehung zwischen den Theilen *a r* und *c r* Statt,

Fig. 190.



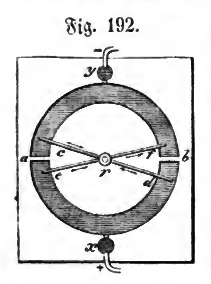
in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und zwischen den Theilen $r\,b$ und $r\,d$, in welchen er vom Kreuzungspunkte abgeht. Abstoßung findet zwischen $a\,r$ und $r\,d$, ferner zwischen $c\,r$ und $r\,b$ Statt.

Der Apparat, welcher Fig. 191 im Durchschnitt und Fig. 192 im Grundriß dargestellt ist, dient dazu, um diesen Satz nachzuweisen. In einer Platte von Holz sind zwei halbkreisförmige Rinnen angebracht, welche durch isolirende Scheidewände a und b getrennt sind. Im Mittelpunkte erhebt sich eine Spitze, auf welcher eine sehr bewegliche Kupfernadel $c\,d$ ruht, deren Enden von Eisen sind und in das Quecksilber der Rinnen eintauchen. Etwas unter dieser Nadel befindet sich eine andere $e\,f$, deren Enden gleichfalls in das Quecksilber eintauchen und die man mit der Hand verschieben kann. Der Strom, welcher bei x eintritt, geht in die eine Rinne, dann durch die beiden Nadeln in die andere, um endlich bei y auszutreten. Man zeigt die Abstoßung, wenn man den Nadeln die Stellung Fig. 192 giebt, die Anziehung aber, wenn man sie in eine solche Lage bringt, daß der Winkel $e\,r\,d$ kleiner als ein rechter wird.

Fig. 191.

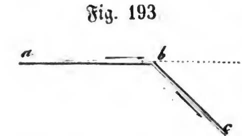


Fig. 192.



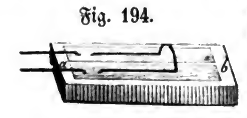
Daraus geht hervor, daß ein Strom $a\,b\,c$, welcher einen Winkel bildet. ein Bestreben hat, den Draht zurückzubiegen, weil sich die Theile $a\,b$ und $b\,c$ des Stromes abstoßen.

Fig. 193



Diese Abstoßung strebt nicht bloß $b\,c$ in die Verlängerung von $a\,b$ zu bringen, sondern sie wirkt auch noch, wenn diese Bedingung erfüllt ist, d. h. die verschiedenen zusammenhängenden Theile eines und desselben geradlinigen Stromes stoßen sich ab. Es ist dies eine wichtige Folgerung aus der Ampere'schen Theorie; was jedoch den experimentellen Beweis für diesen Satz betrifft, so möchte wohl noch viel zu wünschen übrig seyn. Der Apparat, dessen man sich dazu bedient, ist Fig. 194 dargestellt. Ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß ist durch eine nichtleitende Scheidewand $a\,b$ in zwei Abtheilungen getheilt. Ein mit Seide übersponnener Kupferdraht ist so gebogen, daß er von

Fig. 194.



einer Abtheilung in die andere führt und daß sich in jeder Gefäßabtheilung noch ein horizontaler Arm befindet, welcher der Scheidewand parallel ist; diese horizontalen Arme sind bis auf das Ende, welches, etwas abwärts gebogen, in das Quecksilber eintaucht, mit Wachs überzogen. Bringt man nun die beiden Poldrähte einer galvanischen Kette in die Verlängerung der horizontalen Arme dieses Drahtes, so weicht der ganze Draht von den Poldrähten zurück, was anzudeuten scheint, daß der Theil des Stromes, welcher den horizontalen Arm durchströmt, von demjenigen Theile abgestoßen wird, welcher durch das Quecksilber geht. Dieser Schluß ist aber nicht ganz streng, weil man die Art und Weise noch nicht kennt, wie ein Strom aus einer Flüssigkeit in einen festen Körper übergeht; es würde z. B. schon hinreichen, daß ein Theil des Stromes sich schräg gegen den Draht bewegte, um eine gewisse Abstoßung hervorzubringen.

91 **Ampère's Theorie des Magnetismus.** Das Princip dieser Theorie besteht darin, jedes Molekül eines Magneten als von einem Strome gleichsam eingehüllt zu betrachten, welcher, das Molekül beständig umkreisend, in sich selbst zurückkehrt und den man der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen kann. Man stellt sich also nach dieser Theorie jeden auf der Axe des Magneten rechtwinkligen Querschnitt ungefähr auf die durch Fig. 195 anschaulich gemachte Weise vor. Statt aller der elementaren Ströme eines jeden Querschnitts aber kann man sich denselben von einem einzigen Strome umkreis't denken, welcher gleichsam die Resul-

Fig. 195.

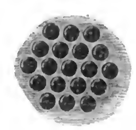


Fig. 196.



tirende aller elementaren Ströme dieses Querschnitts ist, und somit läßt sich ein Magnetstab als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken, ungefähr so, wie es Fig. 196 anschaulich macht.

Was hier von einem Magnetstabe gesagt ist, läßt sich auch auf eine Magnetnadel, kurz auf jeden Magneten, welche Form er auch haben mag, anwenden.

Denken wir uns einen Schraubendraht, welcher sich von *m*, Fig. 197, aus nach beiden Seiten hin erstreckt, und welchen der Strom in der Richtung der Pfeile durchläuft; denken wir uns denselben ferner bei *m* durchgeschnitten und von einander entfernt, so folgt aus unserer Definition, daß bei *a* ein Südpol und bei *b* ein Nordpol ist, denn wenn man sich dem Pol bei *a* zuwendet, so hat man den aufsteigenden Strom zur

Fig. 197.

Rechten, wendet man sich aber dem Pol b zu, so hat man ihn zur Linken.

Schneidet man also einen Schraubendraht rechtwinklig zu seiner Axe durch, so entstehen zwei ungleichnamige Pole, gerade so, wie wenn man einen Magneten durchbricht.

Ferner ist klar, daß sich die ungleichnamigen Pole a und b anziehen, denn wenn wir nur die Endkreise betrachten, so sieht man schon, daß hier die Ströme parallel und gleich gerichtet sind, ebenso ist es aber mit allen anderen.

Um die Erklärung der Anziehung und Abstoßung der Pole in verschiedenen Stellungen der Magnete gegen einander recht anschaulich zu machen, zeichnet man am besten auf Cylinder von Holz oder Pappe, die ohngefähr 1 bis 1,5 Fuß lang sind und 2 bis 3 Zoll im Durchmesser haben, Pfeile in der Weise, wie man Fig. 198 sieht, welche die Richtung der Ströme darstellen; ferner bezeichne man noch auf beiden Cylindern die gleichnamigen Pole auf dieselbe Weise, etwa die Nordpole mit +, die Südpole mit —. Mit Hülfe zweier solcher Modelle läßt sich leicht begreiflich machen, warum gleichnamige Pole sich immer abstoßen, ungleichnamige immer anziehen, in welcher Weise man sie auch übrigens einander nähern mag.

Fig. 198.

Ein elektrodynamischer Schraubendraht ist aber doch noch wesentlich von einem Magneten verschieden. Während ein Magnet an seinen Enden am kräftigsten wirkt, findet sich beim Schraubendraht das Maximum der Wirkung in der Mitte. Poggendorff hat dies durch einen einfachen Versuch anschaulich gemacht.

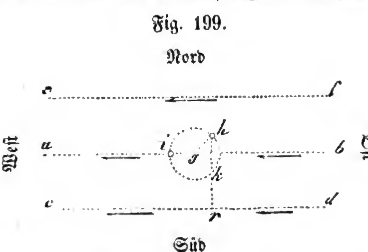
Man verschaffe sich einen hohlen Magnetstab, etwa 3 Zoll lang und inwendig 2,5 Linien weit; füttere ihn mit einer Glasröhre aus und halte ihn senkrecht, z. B. mit dem Nordpol nach oben. Nun schiebe man vorsichtig eine leichte magnetische Nähnadel von etwa 9 Linien Länge mit ihrem Südpol von oben hinein. Sie wird nicht durchfallen, sondern zum Theil noch aus dem Magnet hervorragend oben schweben. Man kann sie sogar eine Strecke hinunterdrücken, und sie steigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem Schraubendraht aber begiebt sich die Nadel sogleich in die Mitte und bleibt dort schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Nach unserer Hypothese müssen wir uns auch die Erde von Strömen im

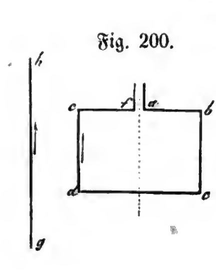
Innern umkreis't denken, die mit dem magnetischen Aequator parallel sind. An jedem einzelnen Orte aber kann man sich vorstellen, daß die Wirkung aller dieser Ströme sich auf die eines einzigen hypothetischen Stromes reducirt, dem man nur eine entsprechende Intensität und Lage zutheilen muß, damit er wirklich den Totaleffect aller übrigen repräsentiren kann. Wir wollen diesen gedachten Strom den mittleren Erdstrom nennen. Auf dem magnetischen Aequator liegt dieser Strom in einer vertikalen Ebene, an allen anderen Orten aber ist er mehr oder weniger geneigt; wir werden sogleich sehen, wie man seine Lage und Richtung bestimmen kann.

Es ist leicht zu zeigen, daß der mittlere Erdstrom von Osten nach Westen geht. In der That, da an jedem Orte der wirksamste Theil dieses Stromes im Wesentlichen wagerecht ist, so braucht man seine Wirkung nur einem vertikalen Strom, welcher um eine ebenfalls vertikale Axe drehbar ist, auszusetzen und seine Gleichgewichtslage zu beobachten. Wir haben aber oben Nro. 89 gesehen, daß ein solcher beweglicher Strom unter der Einwirkung der Erde sich immer rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellt, daß er auf der Ostseite stehen bleibt, wenn er herabströmt, auf der Westseite, wenn er aufsteigt. Der Erdstrom steht also auch rechtwinklig auf der Ebene des magnetischen Meridians und geht von Osten nach Westen. Dieser Versuch aber, welcher so leicht die Richtung des Stromes bestimmt, entscheidet nichts über seine Lage, denn er könnte nördlich oder südlich vom Beobachtungsort vorübergehen und würde doch dieselbe Wirkung auf den vertikalen Strom hervorbringen, wie man in Fig. 199 sehen kann. Der vertikale Strom, den wir aufsteigend annehmen wollen, erscheint in unserer Figur zum Punkt verkürzt in h, ebenso die Umdrehungsaxe g. Wäre nun der Erdstrom südlich in $c\,d$, so würde das Stromstück $r\,d$ den vertikal aufsteigenden Strom in h abstoßen, während er von dem Stromstück $r\,c$ angezogen wird; der Strom h wird also, nach Westen hin getrieben, einen Kreis beschreiben und in i zur Ruhe kommen. Denselben Effect würde aber auch ein nördlich vom Beobachtungsort sich bewegender Strom $f\,e$ hervorbringen.

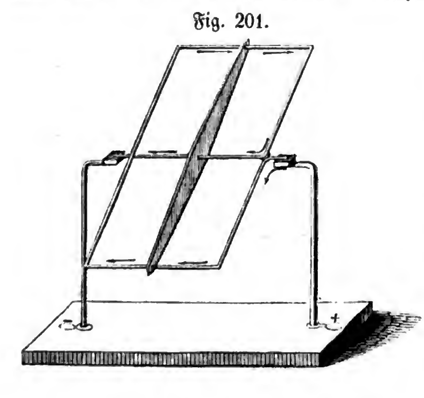
Fig. 199.



Für jeden Ort befindet sich der Erdstrom in einer auf

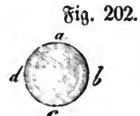

Fig. 200.

der **Inclinationsnadel rechtwinkligen Ebene.** Um dies zu beweisen, muß man sich erinnern, daß, wenn ein rechtwinkliger Strom *abcdef* vollkommen frei um seine Rotationsaxe drehbar ist und durch einen Strom *gh* afficirt wird, der mit der Umdrehungsaxe des Rechtecks parallel ist, daß alsdann ein stabiles Gleichgewicht stattfindet: 1) wenn die Ebene des Rechtecks mit der des Stromes und der Axe zusammenfällt, 2) daß der Strom der Seiten des Rechtecks, welche dem richtenden Strome zunächst liegt, mit diesem gleiche Richtung hat. Da dies, ganz unabhängig von der Lage der Axe, wahr ist, so läßt er sich auch auf einen horizontalen Strom und ein um


Fig. 201.

eine horizontale Axe drehbares Rechteck anwenden. Wenn man also den Apparat, Fig. 201, so stellt, daß die horizontale Umdrehungsaxe mit dem Erdstrom parallel ist, d. h. also, wenn sie rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, so ist klar, daß die Ebene, in welcher sich nun der rechteckige Strom ins Gleichgewicht stellt, auch die Ebene ist, in welcher der Erdstrom liegen muß. Macht man den Versuch, so findet man, daß sich das Rechteck rechtwinklig auf die Richtung der Inclinationsnadel stellt.

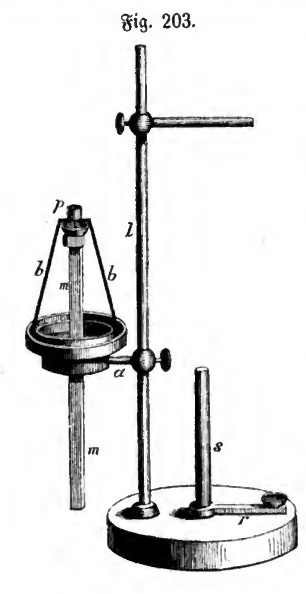
Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magneten. 92
Es sey *abcd*, Fig. 202, der horizontale Durchschnitt eines vertikal stehenden Magneten, *s* ein zum Punkt verkürzt erscheinender vertikaler Strom, den wir aufsteigend annehmen wollen und welcher um die vertikale Axe drehbar ist, so ist nach den in Nro. 89 auseinandergesetzten Principien klar, daß das Stück *ab* des Magnetstromes den Strom *s* abstoßen, *bc* aber ihn anziehen wird, der Strom *s* muß also in der Richtung des Stromes im Magneten rotiren. Wäre der Strom *s* niedergehend, so würde die Richtung der Rotation die entgegengesetzte werden; ebenso wird natürlich die

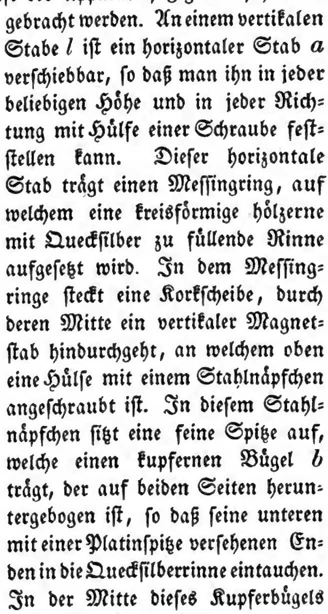

Fig. 202.

Umkehrung der Rotationsrichtung durch eine Umkehrung der magnetischen Pole bewirkt.

Eine solche Rotation kann mit Hülfe des Apparates, Fig. 203, hervorgebracht werden.

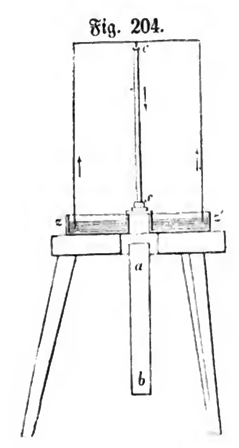
Fig. 203.





An einem vertikalen Stabe l ist ein horizontaler Stab a verschiebbar, so daß man ihn in jeder beliebigen Höhe und in jeder Richtung mit Hülfe einer Schraube feststellen kann. Dieser horizontale Stab trägt einen Messingring, auf welchem eine kreisförmige hölzerne mit Quecksilber zu füllende Rinne aufgesetzt wird. In dem Messingringe steckt eine Korkscheibe, durch deren Mitte ein vertikaler Magnetstab hindurchgeht, an welchem oben eine Hülse mit einem Stahlnäpfchen angeschraubt ist. In diesem Stahlnäpfchen sitzt eine feine Spitze auf, welche einen kupfernen Bügel b trägt, der auf beiden Seiten heruntergebogen ist, so daß seine unteren mit einer Platinspitze versehenen Enden in die Quecksilberrinne eintauchen. In der Mitte dieses Kupferbügels befindet sich ein Quecksilbernäpfchen p. Wird nun der eine Poldraht der Kette in dieses Quecksilbernäpfchen p, der andere oben in die Rinne getaucht, so durchläuft der Strom die beiden Arme des Kupferbügels, welcher alsbald zu rotiren beginnt.

Fig. 204.

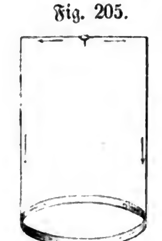


Die Wirkung des Magneten auf den Strom in dem einen Arme des Kupferbügels wird durch die Wirkung unterstützt, welche der Magnet auf den Strom im andern Arme des Kupferbügels hervorbringt.

F a r a d a y hat einen Rotationsapparat angegeben, zu welchem man nicht noch einer besondern galvanischen Kette bedarf, in dem der Strom im Apparat selbst erzeugt wird. $z\,z'$ ist ein Gefäß von Zink, welches gesäuer-

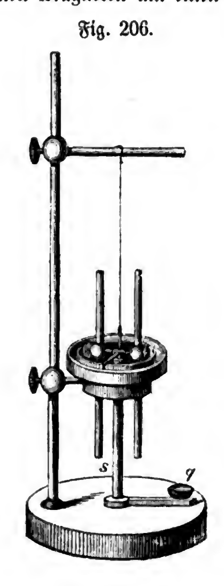
tes Wasser enthält; es ist in der Mitte durchbrochen, über die Mitte der Oeffnung aber ist ein Querstab von Zink gelegt, auf welchem ein Kupferstäbchen *s c* befestigt ist. In das Quecksilbernäpfchen, mit welchem das Stäbchen oben endigt, ist der Apparat, Fig. 205, eingesetzt. Der positive Strom geht vom Zink durch die Flüssigkeit zu dem Kupferring, steigt dann in den Drähten in die Höhe und in dem Stäbchen *s t* wieder herunter. Durch einen unter dem Gefäß angebrachten Magneten *a b* wird eine rasche Rotation hervorgebracht. Man kann diesen Apparat selbst so empfindlich machen, daß er schon unter dem Einfluß des Erdmagnetismus rotirt.

Fig. 205.



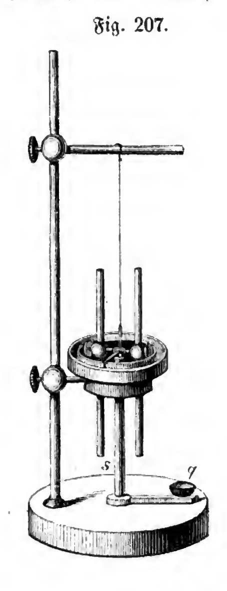
Rotation eines beweglichen Magneten um einen festen Strom. 93
Wäre der Strom *s*, Fig. 202, fest, der Magnet *a b c d* aber um *s* drehbar, so würden dieselben Kräfte, welche im vorigen Falle den Strom um den Magneten drehten, nun den Magneten in Rotation versetzen. Derselbe Apparat, Fig. 203, welcher gedient hat, die Rotation eines Stroms um einen Magneten zu zeigen, kann mit einigen Abänderungen auch dienen, um einen Magneten um einen festen Strom rotiren zu lassen. Zunächst wird die Korkscheibe mit dem Magnetstab *m* und dem Kupferbügel *b* weggenommen, der horizontale Stab *a* aber in der Weise festgeschraubt, daß das obere Ende des Kupferstabes *s* den Mittelpunkt der Holzrinne bildet, wie dies Fig. 206 der Fall ist. Am obern Ende des Kupferstabes *s* befindet sich eine Höhlung, welche mit Quecksilber gefüllt wird. In dieser Höhlung hängt von oben herab ein Metallstiftchen, so daß sein unteres Ende in das Quecksilber eintaucht, ohne den Boden zu berühren. An dieses an einem Seidenfaden herabhängende Metallstäbchen ist ein horizontaler Querstab befestigt, welcher mit zwei Kugeln endigt, in welchen zwei Magnetstäbe so stecken, daß beide ihren Nordpol oben oder beide ihren Nordpol unten haben.

Fig. 206.



In der Mitte des erwähnten horizontalen Querstabs ist rechtwinklig zu seiner Richtung ein anderes Metallstäbchen angesetzt, welches mit einer nach unten umgebogenen Platinspitze endigt; diese Platinspitze taucht in das Quecksilber der hölzernen Rinne. Wenn nun der eine Pol der Kette in das Quecksilbernäpfchen *q*, der andere in die Holzrinne getaucht wird, so geht der Strom von *q* durch *s*, von dem obern Ende des Stäbchens *s* durch das Horizontalstäbchen in die Rinne, oder er circulirt in entgegengesetzter Richtung. Sobald der Strom zu circuliren beginnt, fängt auch das ganze an dem Faden hängende System mit den beiden Magnetstäben an, um die durch den Faden gebildete vertikale Axe zu rotiren. Die Wirkung des vertikalen Stromes in *s* auf den einen Magnetstab wird durch die Wirkung des Stromes auf den andern Magnetstab unterstützt. Wäre der Nordpol des einen und der Südpol des andern Magneten nach unten gekehrt, so würden sich die Wirkungen des Stromes auf die beiden Magnetstäbe gegenseitig aufheben.

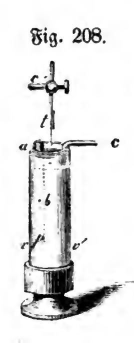
Fig. 207.



Die Richtung der Rotation hängt davon ab, ob die Nordpole oder die Südpole der Magnete nach unten gekehrt sind, und in welcher Richtung der Strom circulirt. Nehmen wir an, der positive Strom stiege in *s* in die Höhe, so müßte in diesem Draht die Ampère'sche Figur aufrecht stehen. Wenn nun der Nordpol (das Südende) der beiden Magnete nach unten gekehrt ist, so wird, wenn die Figur nach einem Magnetstab hin sieht, die Rotation nach ihrer rechten Seite hin gehen, die Magnete rotiren also in der Richtung wie der Zeiger einer Uhr. Eine Umkehrung des Stroms oder eine Umkehrung der Magnetpole würde eine Umkehrung der Rotationsrichtung zur Folge haben.

Eine andere Form dieses Versuchs ist Fig. 208 dargestellt. Ein Glasgefäß *v v'* ist bis nahe an den Rand mit Quecksilber gefüllt; ein cylinderförmiger Magnet *a b*, durch ein Platinstück *p* beschwert, hält sich in dem Quecksilber so aufrecht, daß er noch einige Millimeter über den

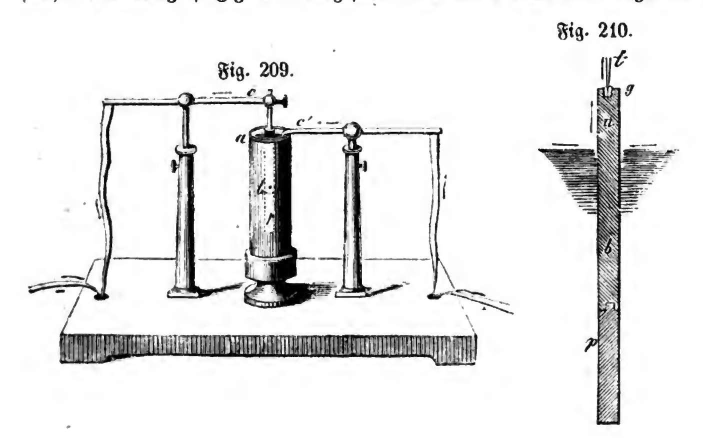
Fig. 208.



Spiegel desselben hervorragt. Ein Stäbchen *t*, welches man mittelst einer Schraube höher und tiefer stellen kann, taucht mit seinem untern Ende in das Quecksilber ein, während es an seinem andern Ende mit einem Kupferdrahte *c'* verbunden ist, der zu dem einen Pole einer galvanischen Kette führt; ein anderer Kupferdraht *c* endlich, welcher mit dem andern Pole der Kette verbunden ist, endigt im Gefäße mit einem Ringe, der etwas in das Quecksilber eintaucht. Sobald die Kette geschlossen wird, dreht sich der Magnet mehr oder minder schnell immer in derselben Richtung um das Stäbchen *t* herum; er zeigt einiges Bestreben, sich dem Stäbchen *t* zu nähern, mit einiger Vorsicht läßt sich aber Alles so einrichten, daß er fern bleibt. Damit die Rotation regelmäßig und rasch vor sich geht, ist schon ein kräftiger Apparat nöthig.

Wenn man den Strom durch die eine Hälfte der Axe eines Magneten selbst auf- oder niederströmen läßt, so rotirt er um seine eigene Axe, wenn seine Aufhängung oder seine Aufstellung eine solche Rotation erlaubt; eine solche Anordnung ist Fig. 209 dargestellt. Am obern Ende des Magneten

Fig. 209. Fig. 210.



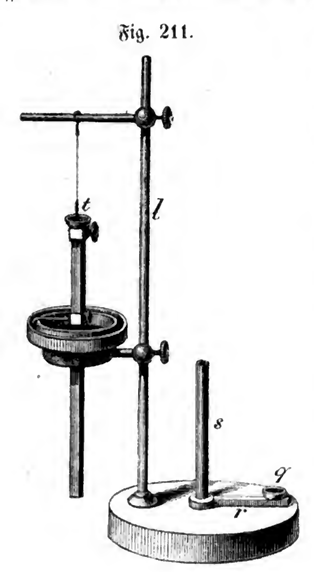
befindet sich nämlich eine Höhlung, die man Fig. 210 deutlicher sieht und die mit Quecksilber gefüllt wird; die Spitze des Stäbchens *t* ragt von oben in dieses Quecksilber hinab, ohne jedoch den Magneten zu berühren, welcher auf diese Weise seine ganze Beweglichkeit behält. Sobald

die Kette in der Weise geschlossen wird, wie beim vorigen Versuch, dreht sich der Magnet wie ein Kreisel rasch um sich selbst.

Die Richtung der Drehung findet ganz in der Weise Statt, wie es das Ampère'sche Gesetz verlangt. Ist nämlich der Südpol oben, so dreht sich derselbe immer nach der linken Seite der in den Strom eingeschaltet gedachten menschlichen Figur. Ist der Nordpol oben, so geht die Bewegung in umgekehrter Richtung vor sich.

Um einen Magneten um seine eigene Axe rotiren zu machen, kann man dasselbe Stativ anwenden, welches Fig. 203 und Fig. 206 abgebildet ist.

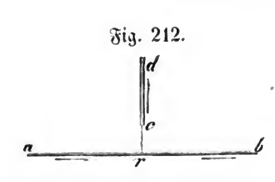
Fig. 211.



Die zu diesen Versuchen nöthige Anordnung ist Fig. 211 dargestellt. Die Rinne hat dieselbe Stellung, wie in Fig. 203, jedoch ist die Korkscheibe mit dem Magneten *m* und dem Kupferbügel *b* weggenommen, dagegen hängt nun, durch das Centrum der Rinne gehend, an einem seidnen Faden ein Magnetstab herab, so daß ein Theil seiner Länge über, ein Theil unter der Horizontalebene der Holzrinne sich befindet. Am obern Ende des Magnetstabes ist eine Hülse angeschraubt, welche oben ein Quecksilbernäpfchen *t* trägt, in dessen Mitte der Faden befestigt ist, an welchem der Magnet hängt. Eine zweite Hülse ist in der Höhe der Holzrinne an den Magnetstab angeschraubt, von dieser führt ein Metallstäbchen, welches mit einer nach unten gebogenen Platinspitze versehen ist, zu der Rinne. Sobald das eine Polende der Kette in das Quecksilbernäpfchen *t*, das andere in die Holzrinne eingetaucht ist, beginnt die Rotation des Magneten um seine eigene Axe. Der Strom durchläuft das horizontale Stäbchen und das obere Ende des Magnetstabes.

94 **Rotation eines Stromes unter dem Einfluß eines andern.** Denken wir uns einen festen unbegränzten Strom *a b* und einen Strom *cd*, der parallel mit sich selbst verschiebbar ist, so wird, wenn der Kreuzungspunkt

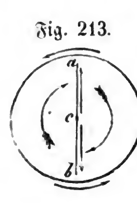
Fig. 212.



in r ist, zwischen den Theilen $c\,d$ und $r\,b$ Anziehung, zwischen $a\,r$ und $c\,d$ aber Abstoßung stattfinden. Jede dieser beiden Kräfte läßt sich in zwei andere zerlegen, von denen eine parallel mit $a\,b$ und eine rechtwinklig auf $a\,b$ ist. Da $c\,d$ nur parallel mit $a\,b$ bewegt werden kann, so können die mit $c\,d$ parallelen Composanten keine Wirkung hervorbringen; die mit $a\,b$ parallelen aber vereinigen sich zu einer Resultirenden, welche den Strom $c\,d$ in der Richtung von a nach b forttreibt.

Wenn der feste Strom $a\,b$ kreisförmig gebogen ist, so muß sich $c\,d$ in Folge derselben Wirkung beständig im Kreise herumdrehen, wie dies durch Fig. 213 deutlich gemacht wird, wo $a\,b$ einen horizontalen Draht darstellt, in welchem sich der Strom von der Mitte c nach den Enden a und b bewegt. Der Kreis stellt einen horizontalen Strom dar, der in der Richtung der äußeren Pfeile circulirt. Die Rotation des Drahtes $a\,b$ findet in der Richtung der inneren gekrümmten Pfeile Statt.

Fig. 213.



Ein Apparat, welcher dazu dienen kann, um eine solche Rotation hervorzubringen, ist Fig. 214 dargestellt; er besteht aus einem Gefäße von Kupfer, dessen Mitte durchbrochen ist, so daß ein vertikaler Metallstab hindurchgehen kann, der oben mit einem Quecksilbernäpfchen endigt. Ein horizontaler Draht, welcher mit zwei Kugeln endigt, spielt auf einer feinen Spitze, welche auf dem Boden dieses Quecksilbernäpfchens ruht. Zwei kurze vertikale Drähte gehen in das saure Wasser des Gefäßes herab. Der Strom, welcher z. B. durch den vertikalen Stab in der Mitte aufsteigt, durchläuft in entgegengesetzter Richtung die beiden Arme des horizontalen Drahtes und geht dann in das saure Wasser über. Wenn man nun, während der Strom auf die angegebene Weise circulirt, das Gefäß mit einem spiralförmigen Leiter, Fig. 215, umgiebt, der aus einem mit Seide umwickelten Kupferstreifen gebildet ist, und durch welchen man einen Strom gehen läßt, so erhält man dadurch den kreisförmigen Strom. Wie wir früher gesehen haben, rotirt der horizontale Draht schon unter

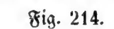
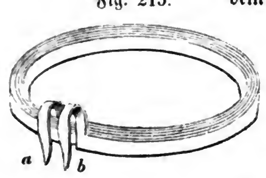

Fig. 214.



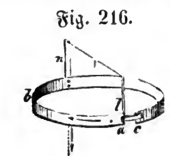
Fig. 215.



dem Einflusse des Erdmagnetismus, allein die Wirkung des Stromes in dem Spiralbande überwiegt die des Erdmagnetismus bedeutend, was schon daraus hervorgeht, daß die Richtung der Rotation eine andere wird, ohne daß man die Richtung des Stromes im Drahte ändert, je nachdem man den Strom bei a oder bei b in das Spiralband eintreten läßt.

Savary hat eine interessante Abänderung dieses Versuchs angegeben; wenn man in einem dem vorigen ähnlichen Kupfergefäße statt des horizontalen Drahtes den Apparat Fig. 216 aufsetzt, so beobachtet man ebenfalls eine Rotation, ohne Anwendung des Spiralbandes, welche sich auf folgende Weise erklärt. Der verticale Streifen n ist aus einer nichtleitenden Substanz verfertigt, der Strom steigt also nur durch den Draht l nieder und durchläuft das Kupferband in der Richtung von a über b nach c, weil das Band zwischen a und c durch ein Stück Elfenbein unterbrochen ist. Von dem Bande geht der Strom theils zum Rande, theils zum Boden des Gefäßes über, indem er durch die Flüssigkeit hindurchgeht, und diese partiellen Ströme in der Flüssigkeit können als fest in Beziehung auf das bewegliche Band betrachtet werden, dieses muß sich also in der Richtung cab drehen; ja es würde sich noch in derselben Richtung drehen, wenn der Strom nicht aus dem Bande in die Flüssigkeit, sondern aus der Flüssigkeit in das Band überginge. Um die Richtung der Rotation umzukehren, müßte die Unterbrechung des Bandes links von l angebracht seyn. Wäre das Band nicht unterbrochen, so hätten die Ströme in der Flüssigkeit gar keinen Einfluß mehr, oder vielmehr ihr Einfluß höbe sich gegenseitig auf, indem der Strom von l aus sich nach beiden Seiten verbreitete.

Fig. 216.



So wie man früher die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen zu einer Menge von elektrischen Spielereien benutzte, so hat man jetzt auch die elektromagnetischen Rotationsphänomene auf die mannigfaltigste Weise variirt. Es mag hier genügen, die Grundphänomene in den einfachsten Formen kennen gelernt zu haben.

95 **Einwürfe gegen Ampère's Theorie.** Gegen die Erklärung, welche die Ampère'sche Theorie von einigen der erwähnten Rotationserscheinungen giebt, lassen sich in der That gegründete Einwendungen machen; namentlich macht Weber darauf aufmerksam, daß die angegebene Erklärung der Rotation eines Magneten um seine eigne Axe (siehe Fig. 211) unzulässig sey, weil die Wirkung eines Stromes im Magneten selbst auf die magnetischen Theilchen unmöglich eine Bewegung desselben Systemes zur Folge haben könne. Wenn mehrere materielle Punkte

zu einem festen Ganzen vereinigt sind, so kann dieses Ganze nicht durch Kräfte in Bewegung gesetzt werden, die zwischen den einzelnen Punkten dieses Systemes wirken; wenn man in einem Wagen sitzend, noch so stark gegen die Vorderwand desselben drückt, so bleibt er doch stehen.

Wenn sich auch die Ampère'sche Theorie gegen diese Einwürfe nicht halten läßt, so leistet sie uns doch in Beziehung auf die Orientirung in der Masse der Erscheinungen große Dienste.

Will man die Ampère'sche Theorie ganz fallen lassen, so muß man von der in Nro. 92 angeführten Erscheinung, daß ein elektrischer Strom, welcher nur dem einen Pole eines mit dem Strome parallelen freibeweglichen Magneten gegenübersteht, diesen Pol je nach seiner Natur nach der einen oder andern Seite zu drehen strebt, als von einer Fundamentalerscheinung ausgehen und dann daraus alle übrigen Erscheinungen ableiten, welche die gegenseitige Einwirkung von Strömen in Magneten darbieten.

Zweites Kapitel.

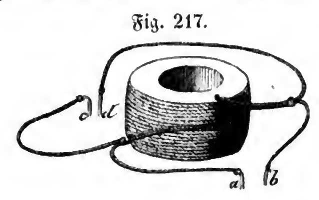
Inductionserscheinungen.

96 Ein elektrischer Strom kann im Moment seines Beginnens oder Aufhörens oder auch durch bloße Annäherung oder Entfernung in einem andern benachbarten Leiter gleichfalls elektrische Ströme erzeugen.

Diese Erscheinungen wurden im Jahre 1838 von Faraday entdeckt und verdienen die größte Aufmerksamkeit, theils wegen ihrer theoretischen Wichtigkeit, theils wegen der zahlreichen Thatsachen, welche sich aus diesem Princip ergeben. Diese neuen Ströme, welche in den Leitern durch die vertheilende Wirkung anderer Ströme hervorgebracht werden, führen den Namen der Inductionsströme. Man könnte sie auch temporäre Ströme nennen, weil sie nur einen Augenblick dauern. Wollte man sie nach ihrem Ursprunge nennen, wie man dies bei den thermoelektrischen und den hydroelektrischen gethan hat, so könnte man sie magneto-elektrische oder elektro-elektrische nennen, weil sie entweder durch Magnetismus oder durch Elektricität erzeugt werden. Wir wollen ein für allemal den Namen Inductionsströme beibehalten, welcher auch von der Mehrzahl der Physiker angenommen ist.

97 **Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen in sich geschlossenen leitenden Kreis.** Auf eine Spule von Holz oder Metall seyen zwei mit Seide überzogene Kupferdrähte so aufgewickelt, wie man Fig. 217 sieht. Der eine Draht läuft hier immer neben dem andern her, ohne daß eine leitende Verbindung zwischen ihnen stattfindet; wenn man also mit dem einen Draht eine galvanische Kette schließt, indem man seine beiden Enden *a* und *b* mit den Polen derselben in Verbindung setzt, so circulirt in diesem Drahte der Strom, ohne daß er jedoch auf den andern Draht übergehen könnte. In diesem andern Drahte aber wird durch die vertheilende Wirkung dieses Stromes ein Strom in entgegengesetzter Richtung hervorgebracht, wenn nur die Enden *c* und *d* dieses zweiten Drahtes in leitender Verbindung sind. Diese leitende Verbindung kann man durch einen Multiplicator herstellen, indem man *c* mit dem einen, *d* mit dem andern Multiplicatordrahte in Berührung bringt. In dem Augenblicke, in welchem man durch den ersten Draht die galvanische Kette schließt, zeigt eine Ablenkung der Multiplicatornadel einen Strom im Nebendrahte an; gesetzt, der positive Strom gehe im Hauptdrahte von *a* nach *b*, so zeigt der Multiplicator einen Strom im Nebendrahte an, welcher in der Richtung von *d* nach *c* denselben durchläuft.

Fig. 217.



Dieser Strom im Nebendrahte ist jedoch nicht andauernd, denn die Multiplicatornadel kehrt alsbald wieder zum Nullpunkte der Theilung zurück; sobald aber der Hauptstrom unterbrochen wird, schlägt die Galvanometernadel nach der entgegengesetzten Richtung aus, sie zeigt also nun einen Strom, der den Nebendraht in der Richtung von *c* nach *d*, also in derselben Richtung durchläuft, in welcher der eben unterbrochene Hauptstrom sich bewegt hatte.

Ein elektrischer Strom kann also in einem nahe liegenden in sich geschlossenen Drahte im Moment seines Entstehens und seines Aufhörens Ströme induciren. Der Strom, welcher bei der Schließung der Kette inducirt wird, hat die entgegengesetzte, der bei dem Unterbrechen der Kette inducirte dieselbe Richtung wie der Hauptstrom.

Bei dem eben angeführten Versuche inducirte der Strom im Hauptdrahte einen Strom im Nebendrahte im Moment seines Beginnens und seines Aufhörens; man könnte also vermuthen, daß diese Wirkungen durch irgend welche Modificationen hervorgebracht würden, welche den Anfang und das Aufhören des Stromes begleiten. Um hierüber alle Zweifel zu heben, hat Faraday durch Versuche dargethan, daß man genau dieselben

Resultate erhält, wenn man einen Leitungsdraht, welcher von einem Strome durchlaufen wird, also den Draht, von welchem die inducirende Wirkung ausgeht, demjenigen Drahte nähert oder entfernt, in welchem ein Strom inducirt werden soll.

Wenn man also sagt, die Wirkung eines Stromes auf einen geschlossenen Leiter beginnt, so ist darunter entweder zu verstehen, daß der inducirende Strom selbst erst beginnt, oder daß er schon im Gange war und dem geschlossenen Leiter genähert wird. In diesen beiden Fällen sind die Wirkungen ganz gleich. Wenn man sagt, die Wirkung eines Stromes auf einen geschlossenen Leiter hört auf, so heißt das, daß der inducirende Strom entweder selbst aufhört oder von dem geschlossenen Leiter entfernt wird.

Die inducirten Ströme bringen alle Wirkungen der gewöhnlichen Ströme hervor, namentlich auch Funken und Schläge. Wenn die Drahtenden *c d* ganz nahe zusammengebracht werden, so sieht man hier einen Funken überspringen, wenn durch die Enden *a* und *b* des inducirenden Drahtes die Kette geschlossen wird. Faßt man das Drahtende *c* in die eine, *d* in die andere Hand (die Hände müssen bei diesem Versuche etwas angefeuchtet seyn), so fühlt man beim Oeffnen und Schließen des Hauptstromes einen Schlag, der um so stärker ist, je länger der aufgewundene Draht ist.

Mit Hülfe der eben besprochenen doppelten Spirale kann man sehr intensive Wirkungen auf die Nerven hervorbringen, denn wenn die aufgewundenen Drähte eine bedeutende Länge haben, ist die Intensität des Inductionsstromes ohne Vergleich stärker als die des Stromes, welchen die angewandte galvanische Kette an und für sich giebt. Eine einfache galvanische Kette, selbst eine Batterie von 4, 6, ja 12 Paaren giebt an und für sich keinen Schlag. Schließt man aber mit den Enden des inducirenden Drahtes eine Kette von wenigen, ja nur von einem Paare, so erhält man am Inductionsdraht einen kräftigen Schlag.

Eine Inductionsspirale verwandelt also gewissermaaßen die elektrische Quantität eines Stromes, wie ihn ein oder mehrere Paare von großer Oberfläche geben, in einen Strom von großer Intensität; eine solche Inductionsspirale bietet also ein treffliches Mittel, um physiologische Effecte hervorzubringen, namentlich wenn man dafür sorgt, daß die Kette in rascher Aufeinanderfolge bald geschlossen und dann wieder geöffnet wird. Dies wird nun auf eine äußerst sinnreiche Weise durch einen von Neef und Wagner construirten Apparat hervorgebracht, der sich wohl mehr als irgend ein anderer für physiologische und medicinische Zwecke eignet, und den wir deshalb auch hier näher betrachten wollen.

In Fig. 216 sieht man eine Inductionsspirale, ganz von derselben Art, wie die schon oben, Seite 230, betrachtete. Um die Windungen des einen

Drahtes leicht von denen des andern unterscheiden zu können, sind beide Drähte nicht mit gleichfarbiger Seide übersponnen, der eine etwa blau, der andere gelb. Der eine Pol der galvanischen Kette ist durch einen Draht $a\,b$ mit einem Quecksilbernäpfchen b verbunden; von b wird der

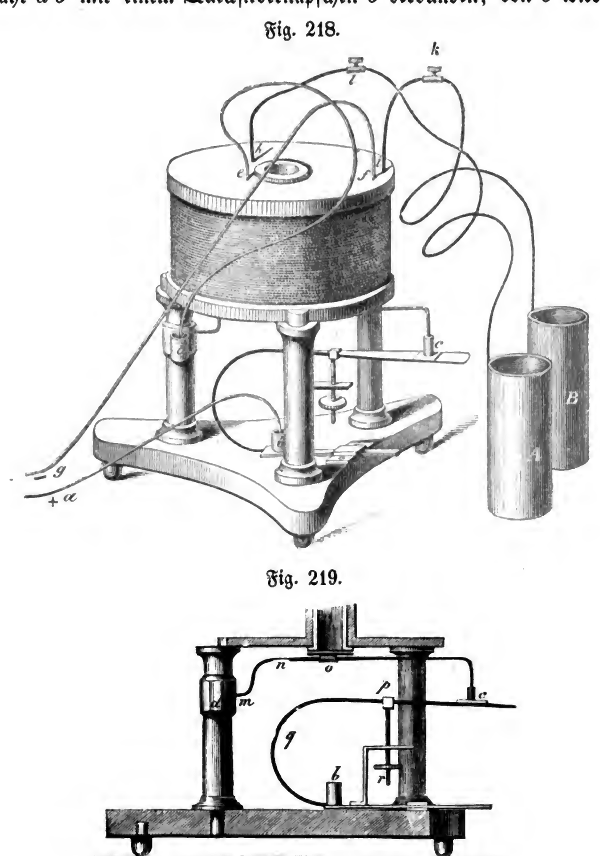


Fig. 218.

Fig. 219.

Strom auf eine Weise, die wir gleich näher werden kennen lernen, nach dem Quecksilbernäpfchen d geführt. In dieses Näpfchen aber taucht das eine Ende des inducirenden Drahtes, welcher bei e in die Spuhle eintritt und sie bei f nach vielfachen Windungen wieder verläßt; das Drahtende fg

ist mit dem andern Pol der Kette in Verbindung, der inducirende Strom geht also von *a* über *b, c, d, e, f* nach *g*.

Der inducirte Draht tritt bei *h* in die Spule ein, läuft immer neben dem inducirenden Drahte her und tritt bei *i* aus; die beiden Enden dieses Drahtes sind *h l* und *i k*.

Die Verbindung zwischen den Quecksilbernäpfchen *b* und *d* ist in Fig. 219 deutlicher zu sehen. Um den einen der drei Pfeiler, welche die Inductionsrolle tragen, ist ein Metallring gelegt, und an diesen ist dann das Quecksilbernäpfchen *d* angelöthet, an diesem Ringe ist aber auch ein Kupferdraht *m n o c* befestigt, welcher horizontal dicht unter der Inductionsrolle herläuft und bei *c* mit einem kleinen Hammer von Platin endigt. Dieser Hammer ruht auf einem Platinplättchen, welches auf den Kupferdraht aufgelöthet ist, der über *p* und *q* zum Quecksilbernäpfchen *b* führt. Der obere der beiden eben betrachteten Kupferdrähte ist bei *n* platt geklopft, so daß diese dünne Stelle gleichsam eine Axe bildet, um welche man das Drahtende *o c* leicht auf und nieder bewegen kann; hebt man das rechte Ende des Drahtes, so wird dadurch das Hämmerchen bei *c* von der Platinplatte abgehoben, der Strom also an dieser Stelle unterbrochen. Das Heben und Senken des Drahtes *n o c* wird aber durch den Apparat selbst verrichtet. Die Inductionsrolle ist nämlich mit einem hohlen Cylinder von weichem Eisen gefüttert, welches magnetisch wird, sobald ein Strom den inducirenden Draht durchläuft; bei *o* ist aber an dem Drahte, der unter der Inductionsrolle herläuft, eine horizontale Eisenplatte befestigt, die sich ganz nahe unter jenem Eisenkerne befindet; wird nun das Eisen magnetisch, so wird die Platte gehoben, dadurch aber wird der Strom bei *c* unterbrochen, der Eisenkern verliert seinen Magnetismus, die vorher gehobene Eisenplatte fällt wieder ab, das Hämmerchen bei *c* fällt also auch wieder auf das Platinplättchen, wodurch auch die Circulation des Stromes wieder hergestellt wird. Alsbald wird aber auch die Eisenplatte *o* und das Hämmerchen bei *c* wieder gehoben, der Strom also abermals unterbrochen, um sogleich wieder hergestellt zu werden u. s. w.

Die Schnelligkeit, mit welcher die Unterbrechungen des Stromes auf einander folgen, hängt von der Entfernung der Eisenplatte vom Eisenkern ab; um diese nun reguliren zu können, ist die Stellschraube *r* angebracht, vermittelst deren das Drahtstück *p c*, also auch der Draht *c o n*, höher oder tiefer gestellt werden kann.

Um nun durch den inducirten Strom recht kräftige physiologische Wirkungen hervorzubringen, sind an den Enden der Inductionsspirale zwei Drähte mit den metallenen Cylindern *A* und *B* befestigt, die man in die etwas angefeuchteten Hände nimmt, oder die man mit Wasser füllt und

die Finger in dieses Wasser taucht. Als Elektricitätsquelle nimmt man am besten irgend eine constante Kette von einem oder mehreren Paaren. Die Schläge dieses Apparates sind so stark, daß sie sich durch eine Reihe von mehreren Personen fortpflanzen, wenn diese sich mit benetzten Händen anfassen. Ein sehr interessanter Versuch besteht darin, daß man statt jener Cylinder zwei etwa handgroße Metallplatten an den Enden der Inductionsspirale befestigt, diese in einiger Entfernung von einander in Wasser eintaucht und dann das Glied, auf welches man die Elektricität will wirken lassen, also beispielsweise die Hand, ohne die Polplatten zu berühren, zwischen dieselben in das Wasser hält. In diesem elektrischen Bade entzieht der eingetauchte Körpertheil dem Wasser den größten Theil der dasselbe durchströmenden Elektricität und wird also auf allen Punkten auf das Lebhafteste erregt. Man begreift wohl, wie wichtig solche Bäder für die ärztliche Anwendung seyn können.

Auch der Strom im Schließungsdrahte einer Leydner Flasche kann in benachbarten geschlossenen Leitern einen Inductionsstrom erzeugen, die Richtung des Inductionsstromes ist aber hier der des inducirenden Entladungsstromes gleich gerichtet, was wohl begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß bei der kurzen Dauer des Entladungsschlages nur die Wirkung des aufhörenden Stromes nachgewiesen werden kann.

98 **Einwirkung der Windungen auf einander.** Wenn man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht schließt, so erhält man nur einen schwachen Funken, wenn man die Kette wieder öffnet; einen Schlag erhält man dabei nicht; wendet man aber statt des kurzen einen sehr langen Draht an, so sieht man beim Oeffnen der Kette einen ungleich stärkeren Funken überspringen, und, wenn man das eine Drahtende in der einen, das andere in der andern Hand hält, so fühlt man im Moment des Oeffnens einen Schlag. Diese Wirkungen werden dadurch ganz außerordentlich verstärkt, daß man den Draht aufwindet, und zwar so, daß die einzelnen Windungen möglichst nahe zusammenliegen; um dies möglich zu machen, muß natürlich der Draht mit Seide übersponnen seyn, damit der Strom nicht seitwärts von einer Windung zur nächsten übergehen kann.

An dem oben, Seite 197, beschriebenen Apparate, Fig. 165, wurde die eben besprochene Wirkung sehr langer gewundener Drähte im Jahre 1832 ganz unversehens beobachtet. Wenn man nämlich die Kette unterbricht, indem man die Enden *n* und *p* des 2000 Meter langen Drahtes aus den Quecksilbernäpfchen zieht, so sieht man einen sehr hellen Funken überspringen, während der Funken der Säule selbst kaum sichtbar ist; und wenn man diese beiden Drahtenden mit etwas feuchten Händen anfaßt und dann aus dem Quecksilber zieht, so erhält man einen fast niederschmetternden Schlag.

Man kann diese Wirkung langer Drahtspiralen sehr gut mit einer einfachen Spirale, Fig. 220, zeigen; man hat zu dem Ende nur die Drahtenden *m* und *n* in die Quecksilbernäpfchen zu tauchen, welche die Pole einer galvanischen Kette bilden, so wird man beim Herausnehmen der Drahtenden den verstärkten Funken sehen und den Schlag fühlen. Um aber diese Schläge in rascher Folge bequem durch den Körper gehen zu lassen, kann man den oben schon besprochenen Neef'schen Apparat, Fig. 221, anwenden. Lassen wir zuerst die Drahtspirale, in welcher bei den obigen Versuchen der Strom inducirt wird, ganz aus dem Spiele, denken wir uns, die Drahtspirale, welche die galvanische Kette schließt, sey allein vorhanden; ein Kupferdraht, der mit einem metallischen Cylinder endigt, sey in das Quecksilbernäpfchen *b*, ein gleicher in das Näpfchen *d* eingetaucht. Wenn man nun die beiden Metallcylinder in die Hände faßt, so erhält man einen heftigen Schlag, so oft durch das Aufheben des Hämmerchen bei *c* die Kette geöffnet wird.

Fig. 220.

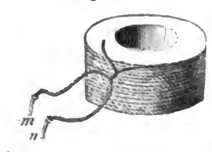
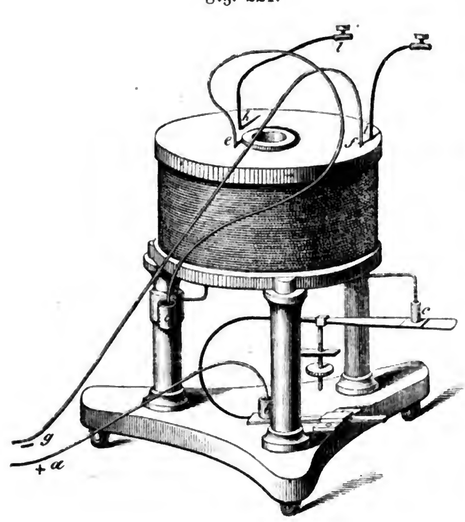


Fig. 221.



Der wahre Hergang läßt sich vielleicht an dem Apparate selbst nicht gleich beim ersten Anblicke übersehen, durch das Schema Fig. 222 wird er aber ganz deutlich werden. Es stellt *q* das galvanische Element vor; von dem einen Pol derselben geht der Strom, wenn die Kette nicht unterbrochen ist, zuerst zum Quecksilbernäpfchen *b*, dann über die Trennungsstelle *c* nach dem zweiten Quecksilbernäpfchen *d* und von diesem durch die

Fig. 222.

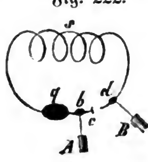
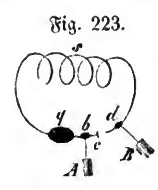


Fig. 223.



Spirale *s* zum andern Pol der Kette; wird aber die Kette bei *c* geöffnet, so geht der Schlag durch den Körper, welcher die Metallcylinder bei *A* und *B* verbindet.

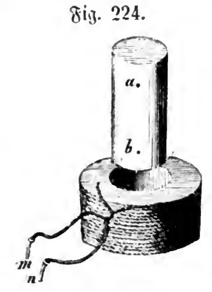
Die Wirkung läßt sich bei dem eben besprochenen Versuch mit dem Neef'schen Apparate noch dadurch bedeutend verstärken, daß man die beiden Spiraldrähte so verbindet, daß sie einen einzigen von doppelter Länge bilden. Dies kann auf folgende Weise bewerkstelligt werden: die Enden der einen Spirale endigen mit Hülsen, in welche man jeden beliebigen Draht einstecken und durch das Schräubchen festklemmen kann. Klemmt man in diese Hülsen die Drähte fest, welche zu den Metallcylindern *A* und *B* führen, so ist der Apparat für die auf Seite 232 besprochenen Versuche vorgerichtet; um aber die beiden Spiralen zu einer einzigen von doppelter Länge zu vereinigen, hat man nur das Ende *g* des bei *f* austretenden gelben Drahtes in die Hülse *l* einzuklemmen. Der Strom nimmt alsdann folgenden Weg: bei *e* tritt er in die gelbe Spirale ein, durchläuft dieselbe, tritt bei *f* aus den Windungen aus, geht dann in den blau übersponnenen Draht über, in welchem er denselben Weg noch einmal durchläuft, um bei *i* zum zweitenmale aus den Windungen auszutreten; in der Hülse, mit welcher der bei *i* austretende blaue Draht endigt, wird der Draht eingeklemmt, welcher zum andern Pol der galvanischen Kette führt.

Was nun die Erklärung dieser Erscheinung betrifft, so sieht man wohl leicht ein, daß sie mit den vorher besprochenen Inductionserscheinungen in sehr naher Beziehung stehen. Faraday schreibt diese Effecte einer inducirenden Wirkung zu, welche die Windungen einer und derselben Drahtspirale auf einander ausüben, und nennt diesen Inductionsstrom einen Extrastrom (extracurrent). Dieser Extracurrent entsteht im Moment des Schließens und des Oeffnens der Kette; bei der Schließung hat der Extrastrom eine dem Hauptstrome entgegengesetzte Richtung; daher beim Schließen keine merkliche Wirkung; beim Oeffnen der Kette aber hat der Extrastrom gleiche Richtung mit dem primären, daher denn die kräftigen Wirkungen beim Unterbrechen der Kette. Dove hat vor Kurzem (Pogg. Ann. LVI. Seite 251) das wirkliche Vorhandenseyn dieser Gegenströme, welches durch Faraday's Untersuchungen noch nicht außer Zweifel gesetzt war, durch eine sinnreich angeordnete Reihe von Versuchen nachgewiesen.

99 **Induction elektrischer Ströme durch Magnete.** Ein mit Seide umsponnener Metalldraht sey um eine hölzerne oder metallene Spule gewickelt, deren innere Oeffnung so groß ist, daß man einen Magneten hineinstecken kann. Die beiden Enden *m* und *n* des Drahtes werden mit den beiden Enden des Multiplicatordrahtes eines Galvanometers in Ver-

bindung gebracht, welches hinlänglich weit entfernt ist, daß der Magnet selbst nicht ablenkend auf die Nadel des Instrumentes wirkt. In dem Augenblick, in welchem man den Magneten in die Spule hineinsteckt, bemerkt man auch eine Ablenkung der Galvanometernadel, die jedoch bald wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückkehrt, um von Neuem, und zwar nach der entgegengesetzten Richtung, sich zu bewegen, wenn man den Magneten aus der Spule zurückzieht. Die Richtung des Stromes, welche das Galvanometer bei der Annäherung des Magneten anzeigt, ist der Richtung der Ströme entgegengesetzt, welche nach der Ampère'schen Theorie den Magneten umkreisen; der bei der Entfernung des Magneten im Drahte inducirte Strom hat mit jenen Strömen gleiche Richtung.

Fig. 224.



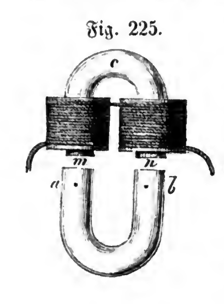
Wenn man ein sehr empfindliches Galvanometer hat, ist es gar nicht einmal nöthig, daß man einen so langen Draht auf eine Spule wickelt, um den durch einen Magneten inducirten Strom nachzuweisen; ja man hat nicht einmal nöthig, einen gewundenen Draht anzuwenden, man braucht nur die beiden Enden eines einfachen Drahtes mit den beiden Enden des Galvanometerdrahtes zu verbinden und dann dem Drahte einen Magneten zu nähern und sogleich wieder zu entfernen, dann wieder zu nähern und wieder zu entfernen u. s. w., wodurch die Nadel in hinlänglich merkliche Oscillationen versetzt wird. Wenn man nämlich den Magneten zum erstenmale nähert, so wird ein freilich sehr kleiner Ausschlag, etwa nach der rechten Seite, erfolgen; die Nadel würde nun zurückgehen und nach wenigen Oscillationen, die immer kleiner werden, ganz zur Ruhe kommen, wenn man den Magneten nicht wieder entfernte; wenn man aber während des Rückgangs der Nadel den Magneten entfernt, so wird nun die Nadel nicht allein durch ihre Trägheit über den Nullpunkt hinausgetrieben, diese Bewegung wird noch durch den Inductionsstrom beschleunigt, welcher durch die Entfernung des Magneten hervorgebracht wird; nun muß also ein Ausschlag nach der Linken erfolgen, der schon größer ist als der bei der ersten Annäherung des Magneten hervorgebrachte. Geht nun die Nadel wieder zurück, so wird der Magnet wieder genähert und dadurch ein abermals verstärkter Ausschlag nach der Rechten hervorgebracht u. s. w.

Bei diesem Versuch wird eine Wirkung auf die geschlossenen Drahtwindungen durch die Annäherung oder die Entfernung des Magneten hervorgebracht; die magnetische Wirkung kann aber auch noch auf eine andere

Weise anfangen und aufhören; sie kann in dem Augenblick anfangen, in welchem die magnetischen Flüssigkeiten im Eisen zersetzt werden, und aufhören, wenn es wieder in den nichtmagnetischen Zustand zurückkehrt. Dies läßt sich auf folgende Weise zeigen.

In Fig. 225 ist *a b* ein starker Hufeisenmagnet, *m c n* ist ein Stück weiches Eisen, welches ebenfalls hufeisenförmig gebogen ist, und dessen Schenkel mit vielfachen Windungen eines und desselben sehr langen, mit Seide übersponnenen Drahtes bedeckt sind. Die Richtung der Windungen auf beiden Schenkeln muß von der Art seyn, daß, wenn ein Strom durch den Draht ginge, die beiden Schenkel entgegengesetzte Pole bildeten. Die beiden Enden des Drahtes werden in hinreichender Entfernung vom Eisen und dem Magneten mit einander verbunden, und eine einfache Magnetnadel, über oder unter welcher man den Draht herleitet, wird schon durch den inducirten Strom abgelenkt. Wenn man den Magneten *a b* rasch den Schenkeln des Eisenkerns *m n* nähert, so zeigt die Nadel einen Strom an, welcher die entgegengesetzte Richtung von dem hat, welcher nach der Ampère'schen Theorie das weiche nun zum Magneten gewordene Eisen umkreis't. Beim Entfernen des Magneten *a b* hat der inducirte Strom gleiche Richtung mit dem des nun aufhörenden im weichen Eisen.

Fig. 225.



Man kann leicht zeigen, daß dieser im Draht inducirte Strom nicht die directe Wirkung der magnetischen Pole des genäherten Magneten ist; denn dieser Strom erlangt eine solche Intensität, daß, wenn man die beiden Drahtenden nicht in völlige Berührung, sondern nur in eine sehr kleine Entfernung von einander bringt, ein lebhafter Funken überspringt, sowohl, wenn der Magnet rasch genähert, als auch, wenn er entfernt wird. Dieser elektrische Funken ist offenbar durch magnetische Wirkungen hervorgebracht worden. Wenn man jedes Drahtende in eine Hand nimmt, so spürt man bei Annäherung und Entfernung des Magneten einen Schlag, welcher, wenn der Magnet stark genug ist, dem Schlage einer kleinen Leydner Flasche verglichen werden kann.

Selbst durch den Erdmagnetismus können Ströme inducirt werden. Wenn man einen Stab von weichem Eisen, der mit einem Schraubendraht umwunden ist, in die Richtung der Inclinationsnadel hält, dann aber rasch umdreht, so daß das obere Ende unten, das untere oben hin kommt, so wird in dem Schraubendraht ein Strom inducirt.

Wenn das innere Hufeisen des Apparates Fig. 169, Seite 200 unter den dort angegebenen Umständen rotirt, so müssen bei der Annäherung der Schenkel des inneren Hufeisens gegen die Schenkel des äußeren in den Drahtwindungen Ströme inducirt werden, die nach den oben entwickelten Gesetzen denen entgegengesetzt sind, welche die Rotation veranlassen; diese durch die Rotation inducirten Ströme müssen also nothwendig die Kraft schwächen, mit welcher sich die Schenkel der beiden Hufeisen anziehen und abstoßen; und so tragen denn diese inducirten Ströme wesentlich dazu bei, daß der mechanische Effect, welchen solche Rotationsapparate liefern, weit geringer ist, als man nach der Stärke des Magnetismus erwarten sollte, welcher einem weichen Eisen durch einen galvanischen Strom mitgetheilt werden kann.

Magneto-elektrische Rotationsmaschine. Denken wir uns die Enden der auf Seite 238 betrachteten Inductionsspiralen, welche sich an den beiden Polen eines hufeisenförmigen weichen Eisenkerns befinden, in leitende Verbindung gebracht, dann dieses weiche Eisen um eine vertikale Axe rasch umgedreht, so daß der Pol m, der sich eben über a befindet, nach einer halben Umdrehung über b steht, so wird, weil m sich von a und n von b entfernt, in den Drahtwindungen ein Strom inducirt; dieser Strom nun dauert mit veränderlicher Stärke, aber mit unveränderlicher Richtung während einer halben Umdrehung fort, nämlich während m von a bis b und n von b bis a gedreht wird; sobald aber die zweite halbe Umdrehung beginnt, ändert sich die Richtung des Stromes, um nach Vollendung einer ganzen Umdrehung abermals zu wechseln; wenn also das weiche Eisen mit seinen Drahtwindungen rasch rotirt, so werden diese Windungen beständig von alternirenden Strömen durchlaufen, die jedesmal in einander übergehen, wenn die Pole des weichen Eisens über den Polen des Magneten stehen. Daß die Richtung der Ströme wirklich in der oben angegebenen Weise wechselt, ergiebt sich leicht aus den über die Richtung der inducirten Ströme gegebenen Regeln, denn da a und b entgegengesetzte Pole sind, so muß das Entfernen von a einen Strom in derselben Richtung induciren wie ein Annähern gegen den Pol b. 100

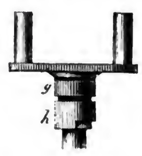
Um auf bequeme Weise mit den durch Magnete inducirten Strömen Versuche anstellen zu können, hat man nach dem eben angedeuteten Princip besondere Maschinen construirt, welche den Namen der magneto-elektrischen Rotationsmaschine führen. Die erste Maschine der Art construirte Pixii im Jahre 1832; bei dieser rotirte der Magnet und nicht das weiche Eisen mit den Inductionsspiralen. Später erfuhr dieser Apparat bedeutende Veränderungen und Verbesserungen, namentlich durch

Saxton, Clarke, Ettingshausen und Stöhrer. Bei allen den später construirten Maschinen sind die Magnete fest und die Inductionsspiralen beweglich. Fig. 226 stellt eine nach Ettingshausen's Angaben construirte magnetoelektrische Rotationsmaschine dar.

Fig. 226.

Die Inductionsspiralen *A* und *B* sind um zwei Cylinder von weichem Eisen gewickelt, welche an den beiden Enden einer horizontalen Eisenplatte befestigt sind, deren Mitte auf einer vertikalen eisernen Axe aufsitzt, wie man dies Fig. 227 sehen kann. Wie die Umdrehung dieser vertikalen eisernen Axe bewerkstelligt wird, ist wohl aus Fig. 226 ohne weitere Erklärung sichtbar. Während der Rotation gehen nun die beiden Eisenkerne unter den Polen mehrerer in horizontaler Lage über einander geschichteter sehr kräftiger Hufeisenmagnete her, und jeder Eisenkern

Fig. 227.



wird dadurch abwechselnd in einen Nordpol und dann wieder in einen Südpol verwandelt.

Die Windungen um beide Eisenkerne bilden natürlich ein einziges sehr langes Drahtstück. Das eine Ende des Drahtes ist mittelst einer Schraube auf einem eisernen Ringe *g* befestigt, welcher durch eine isolirende Substanz, festes Holz oder Elfenbein vor leitender Berührung mit der eisernen Umdrehungsaxe geschützt ist, wie dies Fig. 228 gezeigt ist. Das andere Drahtende ist nun ebenso auf der eisernen Platte aufgeschraubt, welche die beiden Eisenkerne trägt; also ist dieses zweite Drahtende mit der ganzen eisernen Umdrehungsaxe in leitender Verbindung.

Fig. 228.



Auf dieser eisernen Axe ist nun unmittelbar ein eiserner Cylinder *h* befestigt, den wir sogleich noch näher betrachten werden. Da nun der Eisenring *g* mit dem einen Drahtende, der Eisencylinder *h* mit dem andern in leitender Verbindung steht, so können wir gleichsam *g* und *h* für die Drahtenden selbst nehmen; die Inductionsspirale ist geschlossen, sobald *g* und *h* in leitender Verbindung sind, und sobald dies der Fall ist, wird der Inductionsstrom in den Drahtwindungen circuliren, wenn das ganze System in Rotation versetzt wird. Der Kürze wegen wollen wir das ganze rotirende System mit dem Namen des Inductors bezeichnen.

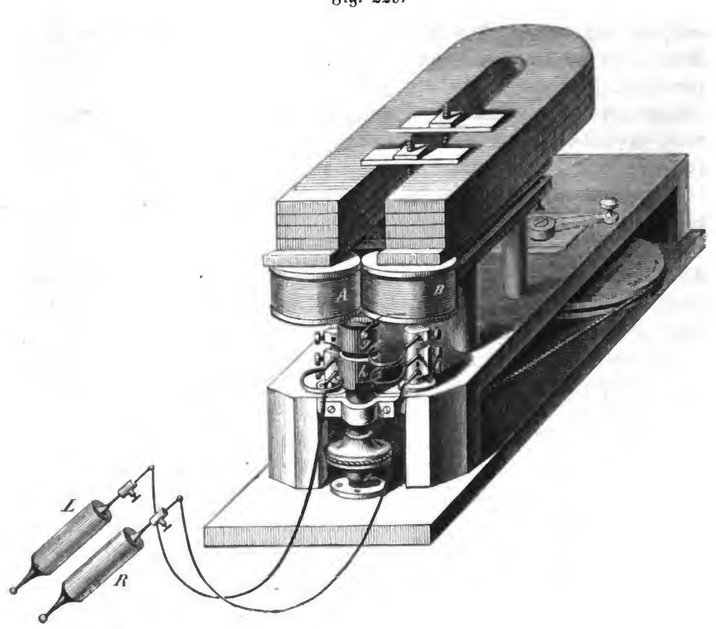
Wir haben jetzt noch den Eisencylinder *h* näher zu betrachten; er besteht aus drei über einander liegenden Abtheilungen, von denen nur die mittlere einen vollkommen ununterbrochenen Umfang hat. Am obern Theile befinden sich diametral gegenüberstehend zwei grubenartige Vertiefungen, an dem untern Ende von *h* aber ist ein Ausschnitt angebracht, welcher die Hälfte des Umfangs hinwegnimmt, wie man dies sehr deutlich aus unserer Figur sehen kann.

Auf jeder Seite der Rotationsaxe ist ein kleiner messingener Pfeiler mit mehreren Löchern angebracht, in welche metallene Federn eingeschraubt werden können, durch welche die Schließung der Kette auf mannigfaltige Weise hergestellt werden kann.

Unsere Figur stellt die Maschine dar, wie sie vorgerichtet seyn muß, um kräftige physiologische Wirkungen zu geben. Im obersten Loche der Säule rechts ist eine Feder eingeschraubt, welche während der Rotation des Inductors beständig auf dem Eisenringe *g* schleift; die Stahlfeder aber, welche in das zweite Loch derselben Säule eingeschraubt ist, schleift auf dem obern Theile des Eisencylinders *h*; auf diese Weise ist nun die Kette geschlossen; so oft aber das Ende der Stahlfeder über eine der beiden grubenförmigen Vertiefungen hinweggleitet, ist hier die Leitung unterbrochen. Und zwar findet diese Unterbrechung gerade dann Statt, wenn die Pole

des Inductors eben von den Magnetpolen abgerissen werden. Zwischen dem Eisenringe g und dem Cylinder h besteht aber noch eine andere Verbindung, in welche der menschliche Körper eingeschaltet werden kann. In dem Messingpfeiler links ist nämlich eine messingene Feder eingeschraubt, welche beständig auf dem mittleren Theile des Cylinders h schleift; durch diese ist der kleine Messingpfeiler links ebenso beständig mit h verbunden, wie g mit dem Pfeiler rechts. Mit dem Pfeiler links steht aber ein

Fig. 229.



metallischer Conductor L, mit dem Pfeiler rechts der Conductor R in leitender Verbindung; so oft also durch das Hinwegleiten der Stahlfeder über eine der grubenförmigen Vertiefungen dort der Strom unterbrochen wird, geht der Trennungsschlag durch den Körper, denn nun gelangt der elektrische Strom, der bis dahin von h durch die Stahlfeder unmittelbar auf den Pfeiler rechts überging, auf einem weitern Wege erst auf den Pfeiler links, von diesem zum Conductor L, durch den menschlichen Körper nach R und von da erst zum Pfeiler rechts. Wenn nun rasch gedreht

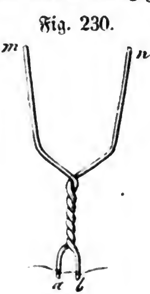
wird, so folgen die Trennungsschläge so schnell und heftig auf einander, daß man ihre Wirkung kaum aushalten kann. Will man die Intensität der Schläge schwächen, so hat man nur langsamer zu drehen oder die beiden Pole der inducirenden Magnete durch einen Anker von weichem Eisen zu verbinden.

Um kräftige physiologische Wirkungen zu erhalten, muß man einen Inductor gebrauchen, der aus einer großen Anzahl von Windungen eines dünnen Drahtes gebildet ist; der Draht ist bei solchen Inductoren nicht unmittelbar auf den Eisenkern, sondern auf eine Spule von Holz aufgewunden. Bei anderen Versuchen, bei welchen man einen Strom von größerer Quantität, aber geringerer Intensität nöthig hat, wendet man dagegen einen Inductor an, der aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes gebildet ist; in diesem Falle ist der Draht unmittelbar auf die Eisenkerne gewunden. Man kann den einen Inductor den Intensitätsinductor, den andern den Quantitätsinductor nennen.

Die Maschine ist so eingerichtet, daß man die beiden Inductoren leicht gegen einander vertauschen kann.

Um kurze und dünne Metalldrähte glühend zu machen, wendet man den Quantitätsinductor an. Die bei dem vorigen Versuche gebrauchte Stahlfeder nimmt man dann weg, so daß der Pfeiler rechts nur durch eine Messingfeder mit g, der Pfeiler links aber durch eine gleiche Feder mit h in leitender Verbindung steht. In die untern Löcher der beiden Pfeiler wird dann die Fig. 230 dargestellte Scheere eingeklemmt, welche durch zwei dicke Kupferdrähte gebildet wird; da, wo die beiden Drähte um einander gewunden sind, müssen sie natürlich mit Seide umwickelt seyn; der zum Glühen bestimmte Draht wird zwischen a b ausgespannt. Der Strom geht von n durch den einen der beiden Kupferdrähte, dann durch den feinen Draht a b und darauf durch den andern Kupferdraht nach m.

Fig. 230.



Um starke Funken zu erzeugen, wendet man den Quantitätsinductor an und schraubt die beiden Federn in den Pfeiler rechts so an, wie die Figur zeigt, dagegen bleibt bei diesem Versuche die Feder links ganz weg. Wenn bei dieser Einrichtung der Conductor rasch gedreht wird, so beobachtet man an dem Ende der Stahlfeder ein lebhaftes Funkensprühen, welches von der bei jeder Umkehrung zwei Mal wiederkehrenden Unterbrechung des Stromes durch die grubenförmigen Vertiefungen herrührt.

Zu chemischen Zersetzungen wird der Intensitätsinductor angeschraubt.

Wenn die Federn so eingeklemmt sind, wie die Figur 229 zeigt, die Stahlfeder aber wegbleibt, wenn also g mit dem Pfeiler rechts, h mit dem auf der linken Seite in leitender Verbindung steht, wenn ferner von dem Pfeiler rechts ein Metalldraht zu dem einen, von dem Pfeiler links ein Metalldraht zu dem andern Drahtende eines Wasserzersetzungsapparates führt, so ist die Kette wirklich durch das Wasser geschlossen, und wenn der Inductor rotirt, findet eine lebhafte Gasentwicklung Statt. Da aber nun die Richtung des Stromes fortwährend sich ändert, so ist klar, daß man die beiden Gase auf diese Weise nicht getrennt erhalten kann. In jedem der beiden Glöckchen wird sich ein Gemenge von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas, also Knallgas, ausscheiden.

Um beide Gase getrennt zu erhalten, muß man die an dem linken Pfeiler eingeklemmte Feder so richten, daß sie nicht an den mittleren, sondern an den untern Theil des Cylinders h anrührt; ferner muß man es so einrichten, daß die Spitze der Feder nicht an der Seite, sondern von vorn her den Cylinder berührt; bei der in unserer Figur dargestellten Lage des Inductors müßte also die Feder gerade da anrühren, wo der Ausschnitt beginnt; wird nun die Kurbel in der Richtung des Pfeils gedreht, so wird während der ersten halben Umdrehung die Feder auf dem Cylinder h schleifen, während der folgenden halben Umdrehung aber wird die Verbindung durch den Ausschnitt unterbrochen seyn. Es ist begreiflich, daß unter diesen Umständen der Strom immer in gleicher Richtung durch das Wasser gehen wird, weil sich der entgegengesetzt gerichtete Strom der Unterbrechung wegen gar nicht bilden kann.

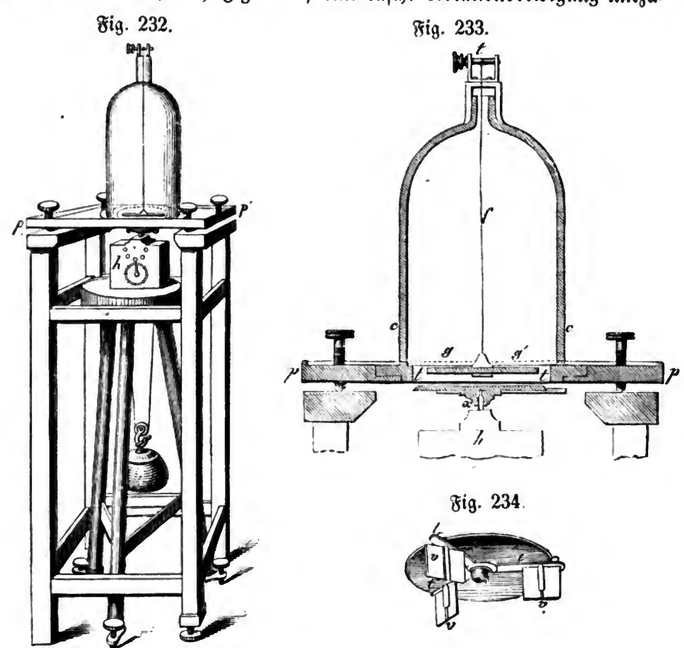
Es ist schwer, die Feder so zu stellen, daß genau im richtigen Moment die Leitung unterbrochen ist; sehr leicht aber gelingt der Versuch, wenn man die Feder mit der Hand an die richtige Stelle andrückt.

Um magnetische Wirkungen hervorzubringen, muß auf dieselbe Weise dafür gesorgt seyn, daß der Strom nur in einer Richtung circuliren kann; übrigens muß zu diesem Zwecke der Inductor mit dickem Drahte angeschraubt werden.

101 **Magnetische Erscheinungen, welche leitende Körper hervorbringen, wenn sie sich unter dem Einfluß von Magneten bewegen.** Die Entdeckung dieser Erscheinungen, welche Faraday erklärte, indem er sie als ein Inductionsphänomen betrachtete, rührt von Arago her. Er fand nämlich, daß, wenn man unter einer leicht beweglichen Magnetnadel eine horizontale kupferne Scheibe rotiren läßt, alsdann die Nadel der Bewegung der Scheibe folgt, d. h. daß sie sich in derselben Richtung um ihre Aufhängungsaxe umdreht wie die Scheibe.

Der Apparat, welchen Arago zu seinen Untersuchungen anwandte, ist

Fig. 232 bis Fig. 234 dargestellt. h Fig. 232 ist eine bis auf zwei oder drei stählerne Spitzen ganz von Kupfer oder Messing gearbeitete Uhr, welche auf einem sehr festen Dreifuße von Holz steht und mit Hülfe von Stellschrauben gehörig vertikal gestellt werden kann. Diese Uhr ist dazu bestimmt, einer vertikalen Axe x, Fig. 233, eine rasche Rotationsbewegung mitzu-



theilen. Die Axe theilt ihre Bewegung einem dreiarmigen Messingstücke $t\,t'$ mit, welches Fig. 234 deutlicher zu sehen ist; auf diesem Stücke werden die Platten befestigt, mit welchen die Versuche angestellt werden sollen. Die drei Flügel v kann man mehr oder weniger neigen, je nachdem man eine größere oder geringere Geschwindigkeit erreichen will. Um nun die Nadel der Einwirkung der drehenden Scheibe auszusetzen, wird über die Uhr ein vierfüßiger Tisch $p\,p'$ gesetzt, welcher in der Mitte eine Oeffnung hat, die etwas größer ist als die Scheibe; diese Oeffnung ist aber unten mit einem Blatt Papier verklebt. Auf den Tisch wird eine Glocke c gesetzt, in welcher die Nadel $g\,g'$ an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Die Nadel kann durch Umdrehung der kleinen Welle t gehoben oder gesenkt werden.

Ein Bleigewicht setzt die Uhr in Bewegung. Ein Zeiger zeigt die Zahl der Umdrehungen an, deren 8 bis 10 in einer Sekunde seyn können; es ist auch eine Glocke angebracht, welche bei jedem Hundert schlägt; und so kann man leicht in jedem Augenblicke erkennen, ob die Umdrehungsgeschwindigkeit ziemlich gleichförmig geworden ist.

Die Erscheinungen, welche man mit diesem Apparate beobachtet, sind folgende. Wenn Alles in Ruhe ist, stellt sich die Nadel in den magnetischen Meridian. Nun läßt man die Bewegung beginnen; anfangs ist die Umdrehungsgeschwindigkeit sehr gering, sie nimmt aber rasch zu, und bald wird die Nadel in der Richtung abgelenkt, nach welcher sich die Scheibe dreht. Die Kraft aber, welche die Nadel fortzieht, wirkt der magnetischen Kraft der Erde entgegen, welche die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt; je nach dem Verhältnisse dieser beiden Kräfte findet eine bestimmte Gleichgewichtslage für die Nadel Statt. Die ablenkende Kraft der Scheibe wächst mit der Geschwindigkeit; bei einer geringen Geschwindigkeit wird also die Nadel z. B. eine Ablenkung von 10° erleiden und in dieser Lage stehen bleiben; bei einer größeren Geschwindigkeit wird die Ablenkung 20° betragen u. s. w. Man kann es auf diese Weise dahin bringen, daß die Nadel bei jeder beliebigen Neigung gegen den magnetischen Meridian von 0° bis 90° stehen bleibt, je nachdem man der Scheibe eine größere oder geringere constante Geschwindigkeit ertheilt. Sobald aber die Geschwindigkeit einmal groß genug ist, um die Nadel um mehr als 90° abzulenken, giebt es keine Ruhelage für die Nadel mehr, die Nadel dreht sich nun mit der Scheibe.

Die Intensität der Wirkung, welche die rotirende Scheibe auf die Nadel hervorbringt, nimmt mit der Entfernung ab, denn wenn noch eine continuirliche Rotationsbewegung der Nadel stattfindet, wenn sie ganz nahe über der Scheibe hängt, so erleidet sie bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe nur eine bestimmte Ablenkung, wenn sie gehoben wird, und zwar wird die Ablenkung um so geringer, je höher sich die Nadel über der Scheibe befindet.

Man kann die Umdrehung der Scheibe auch ohne Uhrwerk bewerkstelligen und dadurch den Apparat einfacher und weniger kostspielig machen.

Nimmt man statt des Kupfers Scheiben von einem andern Metall, so ist die Stärke der Wirkung nicht dieselbe; nach den Versuchen von Herschel und Babbage ist Folgendes die Wirkung der verschiedenen Metalle, wenn man die des Kupfers zur Einheit nimmt.

Kupfer . . .	1,00	Zink	0,13
Zinn	0,46	Antimon .	0,09
Blei	0,25	Wismuth .	0,02.

Silber scheint sehr stark, Gold sehr schwach zu wirken, Quecksilber steht in dieser Beziehung zwischen Antimon und Wismuth.

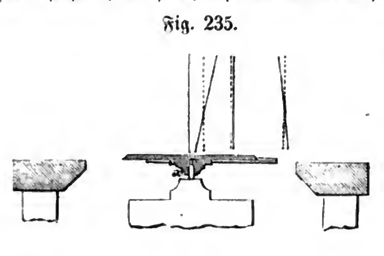
Dieselbe Kraft, welche die eben besprochene Wirkung hervorbringt, läßt sich in drei Composanten zerlegen. Die erste derselben ist rechtwinklig auf dem Radius der Scheibe, und sie ist es, deren Effect auf die angegebene Weise beobachtet wird.

Die zweite ist rechtwinklig auf der Ebene der Scheibe; ihr Vorhandenseyn wird dadurch nachgewiesen, daß man eine vertikal hängende Magnetnadel an einem Wagebalken befestigt. Diese Nadel wird immer abgestoßen, welcher Pol auch nach unten gekehrt sich über der rotirenden Scheibe in der Nähe ihres Randes befinden mag.

Die dritte wirkt in der Richtung der Halbmesser der Scheibe, und man erkennt ihre Wirkung auf folgende Weise. Man bringt eine Inclinationsnadel in eine solche Stellung, daß ihre Umdrehungsebene auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht, daß also die Nadel eine vertikale Stellung einnimmt; ferner muß die Umdrehungsebene der Nadel durch die Umdrehungsaxe der rotirenden Scheibe gehen. Wenn nun die Nadel in der erwähnten Ebene so steht, daß ihre Verlängerung nach unten außerhalb der Scheibe liegt, so wird die Nadel bei Umdrehung der Scheibe abgestoßen. Die abstoßende Kraft nimmt um so mehr ab, je mehr man die Nadel dem Mittelpunkte der Scheibe nähert; in einer bestimmten Entfernung vom Mittelpunkte ist sie Null; und wenn man dann die Nadel der Mitte der Scheibe noch mehr nähert, so findet eine Anziehung Statt, die im Mittelpunkte selbst wieder Null wird.

Auf jedem Halbmesser der Scheibe giebt es also einen Punkt, wo die Kraft, von der es sich hier handelt, Null ist; jenseits dieses Punktes wirkt sie abstoßend, diesseits, also der Mitte näher, wirkt sie anziehend, wie dies in Fig. 235 dargestellt ist, wo die punktirten Linien die ursprüngliche Richtung der Nadel bezeichnen.

Fig. 235.



Wenn die Scheibe in der Richtung der Radien eingeschnitten ist, so verliert sie einen großen Theil ihrer Wirksamkeit; wenn man aber die Einschnitte der kupfernen Scheibe nur am Rande mit einem beliebigen Metalle, selbst mit Wismuth, wieder zulöthet, so wird die verlorene Wirksamkeit fast vollständig wieder hergestellt. Füllt man aber die Zwischenräume mit stark gepreßtem metallischen Pulver oder mit Flüssigkeiten, wie Wasser oder Schwefelsäure,

so gelingt es nicht, den Verlust der Wirksamkeit auch nur wenig wieder zu ersetzen.

Herschel und Babbage haben auch noch folgende Thatsachen festgestellt: 1) daß Schirme nicht magnetischer Substanzen (d. h. welche nicht in der Weise magnetisch sind wie Eisen und Stahl) keinen Einfluß ausüben, wenn sie zwischen die Nadel und die rotirende Scheibe gebracht werden; 2) daß eine rotirende Scheibe eine ruhende durchaus nicht in Bewegung zu setzen vermag.

Barlow hat gezeigt, daß das Eisen, wenn es in Bewegung ist, in derselben Art, nur weit stärker, wirkt wie andere Metalle.

Diese Erscheinungen lassen sich nun dadurch erklären, daß der Magnet in der rotirenden Scheibe Ströme inducirt. Daß solche inducirte Ströme wirklich vorhanden sind, hat Faraday auf folgende Weise durch den Versuch nachgewiesen: Eine kupferne Scheibe, welche um eine horizontale Axe drehbar ist, wurde zwischen die beiden Pole eines Hufeisenmagneten gebracht, daß ihr oberer Rand in die Ebene der beiden Pole oder unter diese Ebene fällt; wenn man nun einen metallischen Collector oben an den amalgamirten Rand hält, der an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes befestigt ist, den andern Multiplicatordraht aber mit der metallischen Axe verbindet, so weicht die Nadel des Multiplicators aus, sobald die Scheibe rotirt, und zwar hängt die Richtung der Ablenkung von der Richtung der Rotation ab; einmal nämlich zeigt die Nadel einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum obern Rande geht, bei entgegengesetzter Drehungsrichtung einen Strom vom Rande nach der Mitte.

Fig. 236.



Fig. 237.



Es seyen Fig. 237 durch die beiden Quadrate die beiden Pole des Hufeisens, durch die Pfeile die Richtung der Ströme dargestellt, welche nach der Ampère'schen Theorie die beiden Pole bilden; man sieht, daß diese Ströme an beiden Polen an den einander zugekehrten Seiten, an den Seiten also, welche bei unserm Versuche der rotirenden Scheibe zugekehrt sind, gleiche Richtung haben. Wird nun die Scheibe so gedreht, daß ihr oberer Rand gleichfalls dieselbe Richtung hat wie der Strom des Magneten an der der Scheibe zugekehrten Seite, daß er sich also von a nach b bewegt, so zeigt der Multiplicator einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum Rande geht; wenn aber die Richtung der Rotation der eben besprochenen entgegengesetzt ist, so geht der inducirte Strom vom Rande der Scheibe zur Mitte.

Wenn nun die metallene Axe mit dem Rande nicht mehr durch den Multiplicatordraht verbunden ist, so hört deshalb die Induction der Ströme in der Scheibe nicht auf; nur werden die Ströme, da sie nicht mehr durch den Multiplicatordraht gehen können, in der Scheibe selbst ihren Weg vollenden müssen. Die Scheibe wird also im ersten Falle so von Strömen durchlaufen, wie Fig. 236 zeigt, im letztern Falle in umgekehrter Richtung.

Fig. 238.

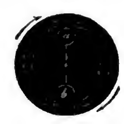


Die Richtung der inducirten Ströme, wie sie hier der Versuch angegeben hat, stimmt ganz mit dem oben angegebenen allgemeinen Inductionsgesetze überein.

Wenn statt der beiden Pole des Hufeisenmagneten nur einer gewirkt hätte, so würde die Erscheinung bis auf die Intensität der Wirkung ganz dieselbe gewesen seyn.

Wenden wir dies auf den Fall an, daß ein horizontaler Magnet über einer horizontalen rotirenden Kupferscheibe sich befindet. Nehmen wir an, die Ströme, welche den Magneten bilden, hätten eine solche Richtung, daß sie an der untern der Platte zugekehrten Seite des Stabes von der Linken zur Rechten gehen, und daß die Scheibe in der Richtung der Pfeile gedreht werde; so wird der eben besprochenen Erfahrung zufolge der Pol *a* Ströme induciren, welche von der Mitte der Scheibe zum Rande, der andere Pol aber solche, welche vom Rande nach der Mitte gehen, kurz, es wird ein System von Strömen inducirt, wie es Fig. 239 darstellt. Die Rückwirkung dieser Ströme auf die Nadel bringt aber die oben besprochene Rotation derselben hervor.

Fig. 239.



Auch durch den Erdmagnetismus werden in rotirenden Scheiben elektrische Ströme inducirt.

Wenn eine horizontale Magnetnadel über einer Kupferscheibe rotirt, so äußert sie ein Bestreben, die Scheibe in gleicher Richtung zu drehen; wenn aber die Kupferscheibe diesem Antriebe nicht folgen kann, so wirken offenbar die inducirten Ströme hemmend auf die Bewegung der Nadel. Darauf beruht die Anwendung von kupfernen Scheiben, welche man in Multiplicatoren unter den Magnetnadeln anbringt; es wird dadurch bewirkt, daß die oscillirende Nadel leichter zur Ruhe kommt.

Fünfte Abtheilung.

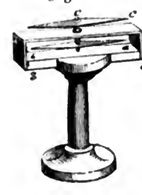
Thermoelektrische Ströme und thierische Elektricität.

102 Weil ein elektrischer Strom nichts anderes ist als die Wiedervereinigung der entgegengesetzten elektrischen Flüssigkeiten, so ist klar, daß alle Ursachen, welche überhaupt Elektricität erzeugen, auch im Stande sind, elektrische Ströme hervorzubringen; denn immer werden ja die beiden Elektricitäten zu gleicher Zeit und in gleichem Maaße entwickelt, und da nun ferner jede der beiden Flüssigkeiten ein Bestreben hat, sich mit ihrem Gegensatze zu verbinden, so reicht es hin, diese Wiedervereinigung möglich zu machen, um einen elektrischen Strom hervorzubringen. Man sollte denken, daß das Umgekehrte auch immer stattfände, d. h. daß man nur irgend einen Strom zu unterbrechen brauche, um die beiden entgegengesetzten Elektricitäten im Zustande der Ruhe und der Spannung zu erhalten. Allerdings ist dies auch stets der Fall, meistens aber ist die Spannung so gering, daß es schwer hält, die Existenz dieser freien Elektricität durch den Versuch nachzuweisen.

Außer den bisher betrachteten giebt es demnach noch mancherlei Quellen elektrischer Ströme; so können z. B. Druck, Reibung, Spaltung u. s. w. elektrische Ströme veranlassen. Auch durch Wärme werden elektrische Ströme erzeugt, welche von Seebeck in Berlin entdeckt und von ihm thermoelektrische Ströme genannt wurden.

Wenn zwei Metallstäbe so zusammengelöthet sind, daß sie eine geschlossene Kette von beliebiger Form bilden, so entsteht ein mehr oder minder starker Strom, so oft die beiden Löthstellen verschiedene Temperatur haben, und der Strom dauert so lange fort, als der Temperaturunterschied unterhalten wird.

Fig. 240.



Es läßt sich dies für einen speciellen Fall mit dem Apparate Fig. 240 nachweisen. $s\,s'$ ist ein Stäbchen von Wismuth, $s\,c\,s'$ ein Streifen von Kupfer, welcher an die Enden des Wismuthstäbchens angelöthet ist; $a\,b$ ist eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel. Wenn die beiden Löthstellen noch die Temperatur der umgebenden Luft haben,

wird der Apparat so gestellt, daß die Ebene des Vierecks $s\ c\ s'$ in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, daß also die Nadel mit der Axe und den Längenkanten des Wismuthstäbchens parallel steht; sobald nun eine der Löthstellen, etwa s, erwärmt wird, erleidet die Nadel eine mehr oder weniger bedeutende Ablenkung; erkaltet man aber dieselbe Löthstelle s unter die Temperatur der umgebenden Luft, so beobachtet man eine Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung.

Diese Ablenkungen der Nadel bald nach der einen, bald nach der andern Richtung zeigen offenbar einen elektrischen Strom an, welcher den Apparat in einer bestimmten Richtung durchkreis't, wenn die Löthstelle s wärmer ist als s'; in der entgegengesetzten aber, wenn die Löthstelle s kälter ist als die Löthstelle s'.

Nicht alle Metalle geben so in die Augen fallende Resultate wie Wismuth und Kupfer; alsdann aber muß man statt einer einzigen Nadel ein System von zwei compensirten Nadeln anwenden, wie man es Fig. 241 sieht. Der obere Streifen $s\ c\ s'$ hat in der Mitte eine Oeffnung, damit das Verbindungsstück der beiden Nadeln hindurchgehe; die Spitze aber, auf welcher das System der beiden Nadeln spielt, erhebt sich bis zur obern Nadel.

Fig. 241.



Es ist nicht gerade nöthig, daß man einen besondern Apparat der Art hat, wie der Fig. 241 abgebildete, um den thermoelektrischen Fundamentalversuch zu machen, man kann dazu jede gehörig leicht bewegliche Compasnadel, etwa die Fig. 242 abgebildete, anwenden. Als thermoelektrisches Element wendet man gewöhnlich ein längliches Rechteck, Fig. 243, an, welches aus Wismuth und Antimon zusammengesetzt ist; in der Figur bezeichnet die hellschattirte Hälfte Wismuth, die andere Antimon. Diese beiden Metalle sind bei s und s' zusammengelöthet. Um den Ver-

Fig 242.

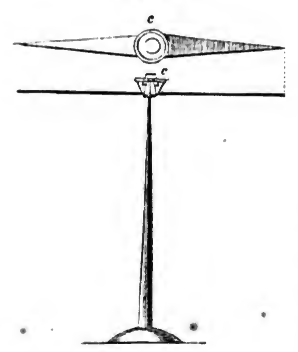
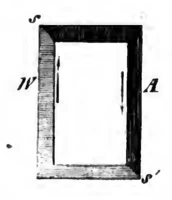


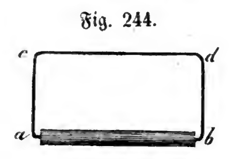
Fig. 243.



such zu machen, erwärmt man vorsichtig die eine Löthstelle über einer kleinen Weingeistlampe und hält dann die eine der längeren Seiten des Rechtecks gerade über die sich noch in ihrer gewöhnlichen Lage befindliche Magnetnadel. Es ist hier noch zu bemerken, daß Fig. 243 in einem kleinern Maaßstabe gezeichnet ist als Fig. 242; man muß das Rechteck aus Wismuth und Antimon, doch so groß machen, daß jede der längeren Seiten wenigstens die Länge der Magnetnadel hat.

Haufig haben die einfachen thermoelektrischen Ketten auch die Fig. 244 dargestellte Einrichtung. *a b* ist ein Stäbchen von Antimon oder Wismuth, an dessen beiden Enden ein Kupferdraht *a e d c* angelöthet ist. Um den Versuch zu machen, wird die eine Löthstelle bei *a* oder bei *b* erwärmt und das Drahtstück *e d* über die Nadel gehalten.

Fig. 244.



In vielen Fällen muß man, um die thermoelektrischen Ströme nachzuweisen, den Multiplicator zu Hülfe nehmen; die **thermoelektrischen Multiplicatoren** haben aber weniger Windungen und sind aus dickerem Drahte construirt als die gewöhnlichen. Wenn man mit den beiden Enden des Kupferdrahtes eines solchen Multiplicators ein Stück Wismuth oder Antimon berührt, so erhält man schon eine bedeutende Ablenkung der Nadel, wenn auch nur eine ganz geringe Temperaturdifferenz zwischen den beiden Berührungsstellen stattfindet.

Um mit Hülfe des Thermomultiplicators die thermoelektrischen Ströme zu untersuchen, welche irgend zwei Metalle mit einander geben, wie z. B. Eisen und Platin, reicht es hin, ein Stück Platindraht durchzuschneiden und jedes Stück an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes zu befestigen, so daß ein vollkommen metallischer Contact zwischen Platin und Kupfer besteht. Ist diese Einrichtung getroffen, so ist es gerade so gut, als ob der ganze Multiplicatordraht von Platin wäre, vorausgesetzt, daß die beiden Berührungsstellen zwischen dem Kupfer- und Platindraht ganz gleiche Temperatur haben; man braucht dann nur zwischen den beiden Platinenden ein Stück Eisendraht anzubringen und die eine Berührungsstelle zwischen Platin und Eisen zu erwärmen, während die andere kalt bleibt, so erhält man den thermoelektrischen Strom, welcher von der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Stellen herrührt, in welchen sich Platin und Eisen berühren.

Wenn man verschiedene Metalle diesem Versuche unterwirft, so findet man, daß die Combination je zweier Metalle in dieser Hinsicht sehr ungleich empfindlich sind, je nachdem man verschiedene Metalle wählt; denn

während irgend zwei Metalle einen kräftigen Strom geben, geben zwei andere unter ganz gleichen Verhältnissen nur einen außerordentlich schwachen Strom.

Die Untersuchungen, die man über das gegenseitige Verhalten verschiedener Metalle in Beziehung auf die Erregung thermoelektrischer Ströme gemacht hat, haben gezeigt, daß sich die Metalle in eine Reihe zusammenstellen lassen, welche die Eigenschaft hat, daß, wenn man aus je zwei Metallen dieser Reihe eine Kette bildet und an der einen Berührungsstelle erwärmt, an dieser erwärmten Löthstelle der positive Strom von dem in der Reihe tiefer stehenden Metall zu dem höher stehenden übergeht.

Antimon	Zinn
Arsenik	Silber
Eisen	Mangan
Zink	Kobalt
Gold	Palladium
Kupfer	Platin
Messing	Nickel
Rhodium	Quecksilber
Blei	Wismuth.

In dem Apparate Fig. 240 geht also, wenn die Löthstelle bei s erwärmt ist, der Strom in der Richtung von s über c nach s' und dann nach s zurück; an der erwärmten Berührungsstelle s ist also das in der Reihe höher stehende Kupfer positiv gegen das tiefer stehende Wismuth. In dem Rechteck Fig. 243 circulirt der positive Strom in der Richtung der Pfeile, wenn die Löthstelle bei s wärmer ist.

Becquerel hat beobachtet, daß bei sehr hohen Temperaturen Platin und Eisen ihre Rolle umkehren, diese Umkehrung scheint aber nicht constant zu seyn; denn bei einer großen Anzahl von andern Versuchen wurde nichts der Art beobachtet.

Wenn man eine geschlossene aus einem einzigen homogenen Metalle construirte Kette an irgend einer Stelle erwärmt oder erkaltet, so können gleichfalls unter gewissen Umständen starke Ströme entstehen.

Wismuth und Antimon scheinen unter allen Metallen am meisten geeignet, diese merkwürdige Erscheinung zu zeigen. Nimmt man z. B. irgend ein Stück Antimon von beliebiger Form und bringt über demselben eine leicht bewegliche kleine Magnetnadel an, so findet man immer auf der Oberfläche des Stücks mehrere Punkte, welche, wenn sie erwärmt werden, eine merkliche Ablenkung der Nadel nach der einen oder der andern Seite bewirken. Auch diese Beobachtung rührt von Seebeck her.

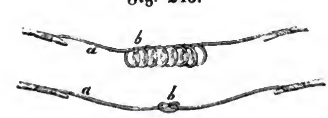
Mehrere Physiker haben diese merkwürdige Erscheinung näher untersucht. Yelin, Cumming und Sturgeon haben sich besonders bemüht, den Stücken Wismuth und Antimon eine regelmäßige Gestalt zu geben, aus diesen Metallen rechtwinklige, elliptische, kreisförmige u. s. w. Ketten zu bilden, um die wirksamsten Punkte zu ermitteln und die Richtung des Stromes zu bestimmen, welchen eine Erwärmung oder Erkaltung dieser Punkte zur Folge hat. Bis jetzt ist es jedoch nicht gelungen, irgend eine allgemeine Thatsache, sowohl in Beziehung auf die Richtung, als auf die Stärke dieser eigenthümlichen Ströme, aufzufinden; denn ganz ähnliche Ketten von verschiedener Größe geben fast immer entgegengesetzte Resultate.

Einige Physiker schreiben diese Wirkungen krystallinischen Gruppen zu, welche sich beim Erkalten des Metalls bilden und welche eine nach allen Seiten gleichförmige Verbreitung der Wärme verhindern. Diese Meinung hat allerdings eine große Wahrscheinlichkeit für sich; um sie übrigens genügend zu begründen, wären doch noch directe Beobachtungen nöthig.

Becquerel hat dieser sonderbaren Thatsache eine größere Ausdehnung gegeben; er zeigte nämlich, daß dieselbe Erscheinung auch an einem Platindrahte stattfindet, und indem er die wesentlichsten Umstände ausfindig machte, welche die Resultate modificiren, hat er in dieser Beziehung folgendes Princip aufgestellt: wenn ein Platindraht eine geschlossene Kette bildet, und wenn sich an irgend einer Stelle desselben ein Hinderniß befindet, welches im Stande ist, die Fortpflanzung der Wärme zu verzögern, so entsteht, wenn man den Draht in der Nähe dieser Stelle erwärmt, ein Strom, welcher von der Stelle der Erwärmung nach jenem Hindernisse hin gerichtet ist.

Wenn man also die beiden Enden eines Platindrahtes mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung setzt und dafür sorgt, daß diese beiden Berührungsstellen zwischen Kupfer und Platin stets auf derselben Temperatur erhalten werden, um zu verhindern, daß gewöhnliche thermoelektrische Ströme sich bilden, so erhält man einen von a nach b gerichteten Strom, Fig. 245, wenn man bei a erwärmt und der Draht bei b schraubenförmig gewunden ist oder nur einen einfachen Knoten hat.

Fig. 245.



Man erhält dieselben Wirkungen mit Kupferdraht, wenn er ein wenig oxydirt ist. Nobili hat indessen mit Metallen, die noch leichter oxydirbar sind, wie Zink, Eisen und Antimon, Ströme in entgegengesetzter Richtung erhalten (Bibl. univ. de Genève T. 27, p. 118).

103 **Thermoelektrische Säulen.** So wie man mehrere Volta'sche Elemente, so kann man auch mehrere thermoelektrische Elemente zu einer

thermoelektrischen Säule vereinigen, welche einen Strom geben, wenn man die Löthungsstellen 1, 3, 5 u. s. w. erwärmt, während die dazwischenliegenden kalt bleiben.

Das Ohm'sche Gesetz findet auch bei thermoelektrischen Strömen seine Anwendung. Um die Gesetze der Elektricitätsentwickelung in thermoelektrischen Säulen zu untersuchen, kann man eine Säule der Art anwenden, wie sie Fig. 246 und Fig. 247 dargestellt ist, und zwar von 8, von 24 oder 32 Wismuth-Kupferpaaren. Fig. 248 stellt zwei dieser Elemente dar. Glasgefäße, welche abwechselnd mit Eis und warmem Wasser gefüllt sind, dienen dazu, die kalten Löthstellen auf 0°, die warmen auf 60° bis 80° zu erhalten. Eine kleine Magnetnadel, welche an einem Seidenfaden aufgehängt ist, wird über die Mitte eines Kupferelements gehalten und giebt durch ihre Oscillationen die Intensität des in der Säule circulirenden Stromes an.

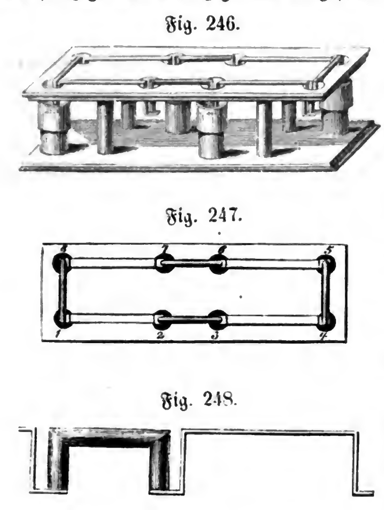


Fig. 246.

Fig. 247.

Fig. 248.

Man kann auf diese Weise sehr genau den allgemeinen Satz bestätigen, den schon Oersted und Fourier ausgesprochen hatten, daß die Stärke des Stroms in einer solchen Kette der Anzahl der in Thätigkeit gesetzten Elemente proportional ist, dann aber auch noch, daß, welches auch die Anzahl der Elemente seyn mag, unter sonst gleichen Umständen die Stromstärke dieselbe ist, wenn nur alle Elemente der Kette in Thätigkeit gesetzt werden. Eine Säule von 32 Elementen giebt also einen eben so starken Strom wie eine Säule von 24, von 8, ja nur von einem einzigen solchen Element, wenn nur die Temperaturdifferenz an den Löthstellen dieselbe ist. Es geht daraus hervor, daß, wenn man nur ein einziges Paar einer Säule von 16 Paaren in Thätigkeit setzt, die Stromstärke 16mal geringer seyn wird als der Strom, den dieses Paar für sich allein geben kann. Es ist dies eine neue Bestätigung des allgemeinen Gesetzes, daß die Stromstärke sich umgekehrt verhält wie die Länge der Kette.

Die eben besprochenen Säulen sind dazu construirt, die Fundamental-

gesetze thermoelektrischer Ströme nachzuweisen; ihrer großen Masse und ihres Volumens wegen sind sie aber nicht geeignet, um an einem eingeschalteten Multiplicator schon bei ganz geringer Temperaturdifferenz der Löthstellen eine Ablenkung der Nadel hervorzubringen. Unter allen zu diesem Zwecke construirten Säulen ist unstreitig die von Nobili angegebene die sinnreichste und empfindlichste; sie ist Fig. 249 dorgestellt. Sie ist aus 25 bis 30 sehr feinen Nadeln von Wismuth und Antimon zusammengesetzt, welche ohngefähr 4 bis 5 Centimeter lang sind. Sie sind zusammengelöthet, wie man Fig. 250 sieht, nämlich so, daß alle paarigen Löthstellen auf der einen, alle unpaarigen auf der andern Seite sich befinden. Das Ganze bildet einen kleinen compacten und festen Bündel, wegen der isolirenden Substanzen, mit denen die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen ausgefüllt sind, denn sie dürfen sich natürlich nur an den Löthstellen berühren. Das eine der beiden Halbelemente endlich, mit denen die Kette endigt, ist mit dem Stift x, das andere mit dem Stift y in Verbindung, und diese Stifte bilden auf diese Weise die beiden Pole der Säule, und mit ihnen werden die Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

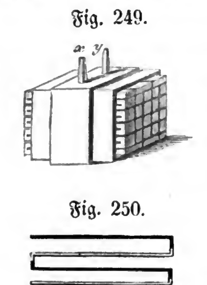


Fig. 249.

Fig. 250.

Wenn die Leitungsfähigkeit des Wismuths und des Antimons bekannt wäre, so könnte man leicht die Länge eines Kupferdrahtes von gegebener Dicke berechnen, welcher einen der Säule gleichen Leitungswiderstand ausübt, und danach bestimmen, wie lang der Multiplicatordraht gemacht werden müßte, um die möglichste Empfindlichkeit zu erlangen. In Ermangelung dieser directen Methode haben einfache Versuche dahin geführt, einen Multiplicator von hinlänglicher Empfindlichkeit zu construiren. Wir werden in dem Kapitel von der strahlenden Wärme die schönen Untersuchungen kennen lernen, welche Melloni mit Hülfe dieses Apparates gemacht hat, dem er den Namen eines Thermo-Multiplicators gab.

104 **Thierische Elektricität.** Man weiß schon seit langer Zeit, daß der Zitterrochen die Eigenschaft hat, der Hand, die ihn angreift, lähmende Schläge zu ertheilen; manchmal sind die Schläge so stark, daß sie in dem ganzen Arm eine schmerzhafte Lähmung hervorbringen, welche mehrere Minuten dauert; die Empfindung, welche diese Schläge hervorbringen, kann am besten mit derjenigen verglichen werden, welche ein Stoß an den Ellenbogen oft veranlaßt. Um diese Wirkungen zu erklären, nahm man früher an, daß der Zitteraal lähmende Moleküle aussende, daß er wie eine Feder wirke, welche losgeschnellt, oder wie ein in Vibrationen befindlicher

tönender Körper (Réaumur Academie des Sciences 1714). Als aber Musschenbroeck zum Erstenmale den Schlag einer Leydner Flasche verspürt hatte, hatte er die glückliche Idee, ihn mit dem Schlage des Zitterrochens zu vergleichen und so zwei Erscheinungen, deren Ursprung ganz verschieden schien, auf eine gemeinschaftliche Ursache zurückzuführen. Nun wurde auch der Zitteraal und ähnliche Fische, die man Zitterfische genannt hatte, mit dem richtigeren Namen elektrische Fische bezeichnet.

Zu den bis jetzt genauer bekannten elektrischen Fischen gehören 1) aus der Familie der Rochen, die Zitterrochen, Torpedo narke, sive marmorata, Torpedo galvanii und Narcine brasiliensis. 2) Aus der Familie der Aale, der Zitteraal, Gymnotus electricus, der Zitterwels, Malapterurus (Silurus) electricus. Die beiden Arten von Torpedo finden sich im mittelländischen Meere und in dem atlantischen Ocean, selten in der Nordsee; die Zitteraale in den Landseen von Südamerika, besonders in Guyana, der Zitterwels im Nil, dem Niger und in anderen africanischen Flüssen.

Nach älteren Nachrichten sollen noch Rhinobatus electricus, Tetrodon electricus und Trichiurus electricus elektrische Eigenschaften haben, doch sind wohl diese Angaben noch als sehr problematisch anzusehen.

Welches aber ist die Quelle der großen Menge von Elektricität, welche diese Fische geben können? Es ist dies eine Frage vom höchsten Interesse, auf welche wir aber nicht im Stande sind, eine auch nur einigermaßen genügende Antwort zu geben. Ohne uns also auf diese Frage weiter einzulassen, müssen wir uns damit begnügen, die wichtigsten Erscheinungen zu betrachten, welche man an diesen Fischen beobachtet hat.

Eigenschaften des Zitterrochens. Die ersten einigermaßen genauen 105 Untersuchungen über die elektrischen Wirkungen des Zitterrochens sind von Walsh angestellt worden. Er stellte seine Versuche im Jahre 1772 zu La Rochelle und der Insel Re an (Journal de Physique T. IV, p. 205) und erhielt folgende Resultate:

Wenn sich der Zitterrochen in der Luft befindet, so erhält man einen Schlag, wenn man direct irgend einen Theil seiner Haut entweder nur mit einem Finger oder auch mit der ganzen Hand berührt.

Eben so erhält man einen Schlag, wenn man das Thier mit einem guten Leiter, etwa einem Metallstab, berührt, welcher mehrere Fuß lang ist.

Der Schlag wird durch jeden schlechten Leiter aufgehalten, man kann also ungestraft das Thier mit einem Glasstab oder einer Harzstange anfassen.

Man kann den Fisch ohne Gefahr selbst mit einem Streifchen Zinn berühren, welches auf eine Glasröhre geklebt ist und in welchem nur eine ganz kleine Unterbrechung gemacht ist, wie man sie etwa mit der Spitze eines Federmessers ritzen kann.

Wenn sich mehrere Personen die Hände geben und die erste den Fisch anrührt, so fühlt auch noch die zweite, selbst die dritte den Schlag, doch nimmt er an Intensität ab.

Der Schlag ist noch in einer Kette von 20 Personen fühlbar, welche sich die Hände geben, wenn die erste den Fisch am Leib, die letzte am Rücken anfaßt.

Im Wasser sind die Schläge immer weniger intensiv als in der Luft, man erhält sie aber auf dieselbe Weise und unter denselben Bedingungen. Da das Wasser ein ziemlich guter Leiter ist, so begreift man, daß ein kräftiger Zitterrochen in die Ferne wirken kann, und daß es nicht mehr nöthig ist, ihn direct zu berühren. Walsh hat in der That beobachtet, daß der Zitterrochen auf einige Entfernung hin kleine Fische erschlägt, oder wenigstens betäubt.

Wenn der Zitterrochen einen Schlag giebt, so ist es stets ein willkürlicher Act; manchmal kann man ihn mehreremal hinter einander ohne Erfolg berühren, wenn man ihn aber reizt, indem man ihn in die Floßfedern kneift, so kann man fast immer sicher seyn, verstärkte Schläge zu erhalten. Walsh hat manchmal an funfzig Entladungen in einer Minute gezählt.

J. Davy hat zuerst die Identität der Elektricität des Zitterrochens mit der Reibungs- und Berührungselektricität factisch dargethan, indem er mittelst derselben Stahlnadeln magnetisirte, die Magnetnadel ablenkte und chemische Wirkungen hervorgebrachte.

Becquerel und Breschet haben mehrere interessante Beobachtungen an Zitterrochen von Chioggia nahe bei Venedig gemacht (Becquerel T. 4, p. 364). Sie haben z. B. mit Hülfe eines guten Galvanometers dargethan, daß der positive Strom immer vom Rücken durch das Galvanometer zum Bauch geht; sie haben auch von Neuem bestätigt, daß der Zitterrochen willkürlich an den verschiedenen Stellen seines Körpers Schläge geben kann.

Matteucci, welcher ebenfalls interessante Versuche über die Zitterrochen des adriatischen Meeres gemacht hat, ist dahin gelangt, durch die Elektricität dieser Thiere vollkommen sichtbare Funken zu erhalten. Er applicirte zu diesem Zweck zwei metallische Armaturen, die eine auf dem Rücken, die andere auf dem Bauch des Fisches; mit jeder dieser Armaturen setzte er ein Goldblättchen in Verbindung und brachte dann die beiden Goldblättchen sehr nahe an einander; so oft nun das Thier gereizt wurde, sprang ein Funken zwischen den Goldblättchen über.

Matteucci fand auch die schon von Becquerel und Breschet gemachte Beobachtung bestätigt, daß der Rücken positiv, der Bauch negativ elektrisch ist.

Auch Linari hat in der neuesten Zeit diese Untersuchungen mit Erfolg fortgesetzt, er hat ebenfalls Funken zu gewinnen gewußt und an einem empfindlichen Condensator Zeichen elektrischer Spannung erhalten. Faraday fand alle diese Wirkungen bestätigt und hat überdies noch durch diese Elektricität Drähte erhitzt.

Eigenschaften des Zitteraals. Der Zitteraal, Fig. 251, welcher auch der surinamische Aal genannt wird, hat eine noch weit größere 106

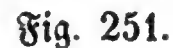
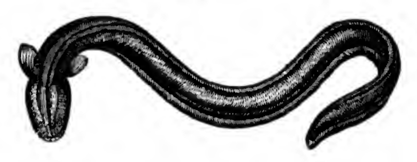


Fig. 251.



elektrische Kraft als der Zitterrochen. Walsh ließ sich Gymnoten von Surinam kommen, mit welchen er die Resultate bestätigte, die er einige Jahre vorher an dem Zitterrochen erhalten hatte; er machte aber außerdem noch die wichtige Beobachtung, daß sich der Schlag des Zitteraals von einem Leiter zu einem andern durch eine dünne Luftschicht hindurch fortpflanzen kann und daß man in diesem Falle einen elektrischen Funken überspringen sieht (Journal de Physique T. VIII. p. 305).

Humboldt hat in Amerika gemeinschaftlich mit Bonpland eine Menge Versuche mit Zitteraalen gemacht; wir wollen hier anführen, was er in seinem Werke über die eigenthümliche Lebensart dieser Fische und über die Art sagt, wie sie gefangen werden.

»— Aber nicht die Krokodile und der Jaguar allein stellen den südamerikanischen Pferden nach; auch unter den Fischen haben sie einen gefährlichen Feind. Die Sumpfwasser von Bera und Rastro sind mit zahllosen elektrischen Aalen gefüllt, deren schleimiger, gelbgefleckter Körper aus jedem Theile die erschütternde Kraft nach Willkür aussendet. Diese Gymnoten haben 5 bis 6 Fuß Länge. Sie sind mächtig genug, die größten Thiere zu tödten, wenn sie ihre nervenreichen Organe auf einmal in günstiger Richtung entladen. Die Steppenstraße von Uritucu mußte einst verändert werden, weil sie sich in solcher Menge in einem Flüßchen angehäuft hatten, daß jährlich vor Betäubung viele Pferde in der Fuhrt ertranken. Auch fliehen alle anderen Fische die Nähe dieser furchtbaren Aale. Selbst den Angelnden am hohen Ufer schrecken sie, wenn die feuchte Schnur ihm die Erschütterung aus der Ferne zuleitet. So bricht elektrisches Feuer tief aus dem Schoße der Gewässer aus.

Ein malerisches Schauspiel gewährt der Fang der Gymnoten. Man

jagt Maulthiere und Pferde in einen Sumpf, den die Indianer eng umzingeln, bis der ungewohnte Lärmen die muthigen Fische zum Angriffe reizt. Schlangenartig sieht man sie auf dem Wasser schwimmen und sich, verschlagen, unter den Bauch der Pferde drängen. Von diesen erliegen viele unter der Stärke unsichtbarer Schläge. Mit gesträubter Mähne, schnaubend, wilde Angst im funkelnden Auge, fliehen andere das tobende Ungewitter. Aber die Indianer, mit langen Bambusstäben bewaffnet, treiben sie in die Mitte der Lache zurück.

Allmälig läßt die Wuth des ungleichen Kampfes nach. Wie entladene Wolken zerstreuen sich die ermüdeten Gymnoten. Sie bedürfen einer langen Ruhe und einer reichlichen Nahrung, um zu sammeln, was sie an galvanischer Kraft verschwendet haben. Schwächer und schwächer erschüttern nun allmälig ihre Schläge. Vom Geräusche der stampfenden Pferde erschreckt, nahen sie sich furchtsam dem Ufer, wo sie durch Harpunen verwundet und mit dürrem, nicht leitendem Holze auf die Steppe gezogen werden.

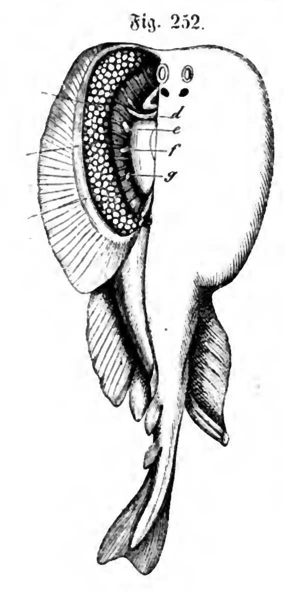
Dies ist der wunderbare Kampf der Pferde und Fische. Was unsichtbar die lebendige Waffe dieser Wasserbewohner ist, was, durch die Berührung feuchter und ungleichartiger Theile erweckt, in allen Organen der Thiere und Pflanzen umtreibt, was die weite Himmelsdecke donnernd entflammt, was Eisen an Eisen bindet und den stillen wiederkehrenden Gang der leitenden Nadel lenkt, Alles, wie die Farbe des getheilten Lichtstrahls, fließt aus Einer Quelle; Alles schmilzt in eine ewige, allverbreitende Kraft zusammen.«

107 **Vom elektrischen Organ.** Das Organ, in welchem sich die Elektricität entwickelt, hat bei den verschiedenen elektrischen Fischen im Wesentlichen dieselbe Textur, dasselbe Ansehn, obgleich seine Gestalt, seine Größe und seine Anordnung verschieden ist. Wir wollen nun versuchen, eine Idee von dem Organe des Zitterrochens zu geben, welches am genauesten untersucht worden ist.

Die Fig. 252 stellt einen Zitterrochen von oben gesehen dar, welcher auf der einen Seite geöffnet ist, so daß man das elektrische Organ sieht. Es geht vorn bis dicht an den Vorderrand des Kopfes, seine obere Fläche stößt mittelst einer faserigen Haut an die Haut des Rückens, seine untere an die des Bauches; seine äußere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenflosse, seine innere an der Muskulatur des Kopfes und des vordern Theiles des Rumpfes. Von oben oder unten gesehen, zeigt das elektrische Organ polygonale oder rundliche Abtheilungen, Fig. 253; von der Seite aber sieht man parallele Streifen, wie Fig. 254 zeigt. Das ganze Organ besteht also aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen, deren Axe die Richtung vom Bauche zum Rücken hat. Die Randbegränzung

jeder Säule bildet eine etwas dichtere sehnigte Membrane, welche, wie es scheint, dieselben Dienste leistet wie die Glasstäbe, zwischen welchen die galvanische Säule aufgebaut wird. Jedes Säulchen besteht aus einer Menge auf einander geschichteter feiner Blättchen; diese kleinen, bald ebenen, bald gebogenen Blättchen sind durch sehr klebrige Schleimschichten von einander getrennt, und somit bieten diese Säulchen in ihrer Construction eine große Aehnlichkeit mit einer aufgebauten galvanischen Säule dar.

Fig. 252.



Man zählt bei dem Zitterrochen gewöhnlich 400 bis 500 solcher Säulchen auf jeder Seite desselben; Hunter zählte deren sogar bei einem sehr großen Exemplare von $4\frac{1}{2}$ Fuß Länge 1184. Vier starke Nervenbündel, *d*, *e*, *f* und *g*, Fig. 252, vertheilen sich in das elektrische Organ, und nach Matteucci scheint das centrale Nervensystem, aus welchem sie entspringen, der eigentliche Sitz der elektrischen Kraft zu seyn.

Bei dem Zitteraal liegt das elektrische Organ in dem sehr langen Schwanze. Bei diesem Thiere nämlich liegt der After so weit nach vorn, daß der Schwanz des Gymnotus fast $4\frac{1}{2}$mal so lang ist als Kopf und Rumpf zusammengenommen, das elektrische Organ liegt fast der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb desselben, so daß der elektrische Apparat dieses Thieres eine bedeutende Ausdehnung hat, woher es denn auch kommt, daß der Zitteraal so außerordentlich starke Schläge ertheilen kann.

Fig. 253. Fig. 254.



Bei dem Gymnotus stehen die Säulchen, welche das elektrische Organ bilden, nicht senkrecht wie beim Zitterrochen, sondern sie laufen in der Richtung des Schwanzes fort, so daß die Scheibchen, aus denen sie bestehen, senkrecht stehen; daher kommt es denn auch, daß beim Zitteraal der positive Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze, also nicht wie beim Zitterrochen vom Rücken zum Bauche geht.

Im thierischen Organismus sind jedoch auch elektrische Ströme nach-

gewiesen worden, welche nicht durch besondere elektrische Organe hervorgebracht werden. Nobili hat gefunden, daß, wenn man mit dem einen Drahtende eines empfindlichen Multiplicators den Kopf, mit dem andern Drahtende die Füße eines lebenden oder frisch getödteten Frosches berührt, ein Strom vom Kopfe nach den Füßen geht; ebenso läßt sich ein Strom nachweisen, wenn man in den Muskel irgend eines Thieres einschneidet und den äußern Muskel mit der Schnittfläche durch den Multiplicatordraht verbindet.

Siebenter Abschnitt.

Von der Wärme.

Erstes Kapitel.

Ausdehnung.

Die Luft, das Wasser, alle Körper der Natur können in unserm Gefühlsvermögen verschiedene Empfindungen anregen, die man mit den Namen der Wärme und der Kälte bezeichnet. Diese Empfindungen bringen sie sowohl bei unmittelbarer Berührung, als auch in großen Entfernungen hervor, und sie sind von der Art, daß wir die Ursache derselben nicht ohne Weiteres der Substanz der Körper selbst zuschreiben können. Von den Sonnenstrahlen beschienen, sehen wir wohl ein, daß es nicht die ponderabele Materie der Sonne ist, welche auf die Erde herabsteigt, um in unseren Augen die Empfindung des Lichtes, in unserm ganzen Körper das Gefühl der Wärme hervorzubringen. Es giebt also irgend ein Agens, welches von der Substanz der Körper verschieden in ihrer Masse verbreitet ist und alle diese Erscheinungen veranlaßt. Diesem Agens hat man den Namen calorique gegeben, was sich ins Deutsche nicht ganz passend übertragen läßt; denn der Ausdruck Wärmestoff würde schon eine Hypothese über das Wesen des unbekannten Agens einschließen. Gewöhnlich bezeichnet man im Deutschen dieses Agens selbst mit dem Namen Wärme, indem man für die Ursache denselben Namen braucht wie für die Wirkung. Ein Irrthum kann dadurch nicht leicht entstehen, indem es stets aus dem Zusammenhange klar wird, in welchem Sinne man das Wort »Wärme« zu nehmen hat. 108

Veränderung des Volumens. Wir haben schon oben gesehen, daß alle Körper durch die Wärme ausgedehnt werden, und daß das Volumen eines Körpers von dem Grade seiner Erwärmung abhängt; die Ausdehnung eines Körpers kann uns also dienen, um den 109

Grad seiner Erwärmung zu messen. Man nennt die **Temperatur** eines Körpers den Grad seiner Erwärmung, die Instrumente aber, welche man anwendet, um die Temperatur zu bestimmen, nennt man **Thermometer**.

Fig. 255 stellt ein **Quecksilberthermometer** dar; die Kugel ist mit Quecksilber angefüllt; diese Flüssigkeit erhebt sich aber auch noch in der Röhre bis zu einer bestimmten Höhe, welche von der Temperatur abhängt. Wenn man die Kugel erwärmt, vermehrt sich das Volumen des Quecksilbers, es steigt in der Röhre, und man sagt, die Temperatur sey erhöht worden. Wenn die Kugel erkaltet, vermindert sich das Volumen des Quecksilbers wieder, das Quecksilber sinkt in der Röhre, und man sagt, die Temperatur sey gefallen.

Fig. 255.

Bei gleicher Temperatur nimmt der Gipfel der Quecksilbersäule auch stets dieselbe Stelle in der Röhre ein. Wenn man ein anderes größeres oder kleineres Thermometer mit dem erstern vergleicht, so werden beide mit einander steigen und fallen, aber die absolute Größe des Steigens und Fallens kann doch sehr verschieden seyn. Wenn z. B. die beiden Kugeln gleich sind, aber die eine Röhre einen zehnmal größeren Querschnitt als die andere hat, so würde bei gleicher Temperaturerhöhung das Quecksilber in der engen Röhre zehnmal so hoch steigen als in der andern.

Ein solches Thermometer kann nur dazu dienen, zu sehen, ob eine bestimmte Temperatur stattfindet, oder ob sie höher oder tiefer sey, je nachdem der Gipfel der Quecksilbersäule in der Röhre an einer bestimmten Stelle oder höher oder tiefer steht. Ein solches Instrument würde schon von einigem Nutzen für die Wissenschaft seyn, durch die **Graduirung** aber werden die Thermometer doch eigentlich erst brauchbare Instrumente, denn durch die Graduirung ist es möglich, die Temperaturen in Zahlen auszudrücken, sie zu vergleichen und die Gesetze der Wärme auszumitteln.

Die **Graduirung** der Thermometer beruht auf der Thatsache, daß es Phänomene giebt, welche immer bei derselben Temperatur stattfinden. Nimmt man z. B. eins der obigen Thermometer in die Hand, so wird es mehr oder weniger steigen, je nachdem das Aeußere der Hand wärmer oder kälter ist; wenn man aber die Hand so lange zuhält, bis sie möglichst erwärmt ist, so wird das Thermometer allmälig bis zu einem bestimmten Punkte, der Blutwärme, steigen, den es immer erreicht, über welchen es aber nie hinausgeht. Zu allen Jahreszeiten, in allen Klimaten, bei allen Individuen wird es fast bis zu demselben Punkte steigen. Die Temperatur des Blutes ist also eine ziemlich constante Temperatur, sie giebt einen

fixen Punkt, den man als Ausgangspunkt bei der numerischen Bezeichnung der Temperatur nehmen könnte.

Es giebt jedoch andere Erscheinungen, welche mehr mathematisch constant sind, und deren man sich leichter bedienen kann. Solche Erscheinungen sind z. B. die Veränderungen des Aggregatzustandes der Körper.

Construction des Quecksilberthermometers. Die Construction 110 des Quecksilberthermometers reducirt sich auf eine kleine Anzahl einfacher Operationen, deren Ausführung jedoch zum Theil große Geschicklichkeit erfordert. Nachdem die Röhre präparirt ist, muß das Quecksilber eingefüllt, die Röhre verschlossen und dann das Thermometer graduirt werden.

Die Thermometerröhren müssen vollkommen cylindrisch seyn. Um sich davon zu überzeugen, bringt man in die zu prüfende Röhre ein kleines Quecksilbersäulchen von 1 bis 2 Centimeter Länge (Fig. 256), bindet dann an dasjenige Ende der Röhre, an welchem sich das Quecksilber befindet, eine Blase von gummi elasticum an, auf welche man nur leicht zu drücken nöthig hat, um das Quecksilbersäulchen nach und nach durch die ganze Röhre hindurch zu treiben. An verschiedenen Stellen der Röhre wird nun die Länge des Säulchens mit Hülfe eines Maaßstabes gemessen. Wenn es an jeder Stelle gleich lang ist, so ist die Röhre cylindrisch, und um ein Thermometer daraus zu machen, hat man zunächst eine Kugel anzublasen. Ist die Röhre nicht cylindrisch, so ist sie unbrauchbar.

Fig. 256.



Um das Quecksilber einzufüllen, wird die Kugel erwärmt, damit sich die darin befindliche Luft ausdehnt, und alsdann die offene Spitze der Röhre rasch in Quecksilber getaucht (Fig. 257). Beim Erkalten der Kugel steigt das Quecksilber in der Röhre bis in die Kugel. Es genügt schon, wenn auf diese Weise nur einige Tropfen in die Kugel gelangen. Kehrt man nun den Apparat wieder um, um die Kugel von Neuem zu erhitzen, bis die Flüssigkeit ins Kochen kommt, so füllen die Quecksilberdämpfe bald den ganzen Raum aus, die Luft wird vollständig ausgetrieben, und wenn man nun abermals das offene Ende der Röhre rasch in Quecksilber eintaucht, so kann man versichert seyn, daß sich die Kugel vollständig mit Quecksilber ausfüllt.

Fig. 257.



Ehe das Thermometer verschlossen wird, muß es *regulirt* werden, d. h. man fügt noch so viel Quecksilber hinzu, oder man treibt so viel Quecksilber aus, wie es gerade der mittleren Temperatur entspricht, für welche das Thermo-

meter bestimmt ist; alsdann wird es zugeschmolzen. Man kann dabei auf zweierlei Weise verfahren, entweder 1) indem man über der Thermometersäule einen luftleeren Raum macht, oder 2) indem man noch Luft in die Röhre läßt.

Im ersten Falle zieht man die Röhre in eine feine Spitze aus, erwärmt die Kugel über Kohlen, bis oben einige Tröpfchen aus der Spitze hervortreten, und schmilzt in diesem Augenblicke, mit Hülfe der Löthrohrflamme, die feine Spitze zu. Ist dies geschehen, so hat man die Spitze nur noch in der Flamme abzurunden, nachdem vorher das Quecksilber sich beim Erkalten der Kugel von der Spitze zurückgezogen hat.

Fig. 258.

Im zweiten Falle schmilzt man die Spitze zu, wenn die Thermometerkugel die Temperatur der umgebenden Luft hat; alsdann wird die Spitze rothglühend gemacht, so daß das Glas hier auf einige Augenblicke dem Schmelzen sehr nahe ist. In diesem Moment erwärmt man die Kugel rasch, die Quecksilbersäule steigt und treibt die Luft gegen die weiche Spitze, wodurch sich hier ein mehr oder minder großes Reservoir bildet (Fig. 259), in welches die Luft jederzeit zurückgedrängt wird, wenn die Quecksilbersäule steigt. Ohne ein solches Reservoir ist das Thermometer der Gefahr zu zerspringen ausgesetzt, wenn man es erwärmt.

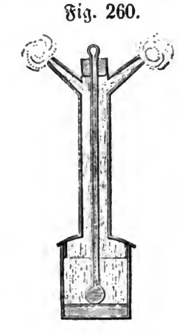
Das Graduiren der Thermometer besteht darin, daß man zwei fixe Punkte auf der Röhre markirt und den Zwischenraum (den Fundamentalabstand) in gleiche Theile theilt. Für die festen Punkte nimmt man in der Regel den Gefrierpunkt und den Siedpunkt des Wassers. Um den Gefrierpunkt zu bestimmen, steckt man die Thermometerkugel und die Röhre, so weit das Quecksilber in derselben reicht, in ein Gefäß mit fein gestoßenem Eise (Fig. 259). Wenn die Temperatur der umgebenden Luft höher ist als Null, so schmilzt das Eis, und die ganze Masse nimmt die fixe Temperatur des Gefrierpunktes an. Bald nimmt auch das Thermometer diese Temperatur an und bleibt von dem Augenblicke an vollkommen stationär, und man hat nur mit Genauigkeit den Punkt der Röhre zu markiren, wo gerade der Gipfel der Quecksilbersäule steht. Man bezeichnet diesen Punkt zuerst mit Tinte und alsdann mit einem Diamant.

Fig. 259.

Um den Siedepunkt zu bestimmen, nimmt man ein Gefäß mit langem Halse, Fig. 260, in welchem man destillirtes Wasser zum Kochen bringt; nachdem es einige Zeit gekocht hat, sind alle Theile des Gefäßes gleichmäßig erwärmt, und der Dampf entweicht durch die Seitenöffnungen; das Thermometer ist alsdann allenthalben von Dampf umgeben, dessen

Temperatur dieselbe ist wie die der obersten Wasserschicht. Das Quecksilber steigt bald bis zu einem Punkte, auf dem es fest stehen bleibt und den es nicht überschreitet. Man bezeichnet diesen Punkt wie den Nullpunkt. Wenn in diesem Augenblicke die Barometerhöhe nicht gerade 760^{mm} ist, so ist eine Correction anzubringen, deren Werth weiter unten, wo vom Sieden die Rede seyn wird, angegeben werden soll.

Fig. 260.



Bei dem Centesimalthermometer wird der Zwischenraum der beiden fixen Punkte in 100 Theile getheilt, und so erhält man die Thermometerscala.

Alle Thermometer, welche auf diese Weise construirt sind, sind vergleichbare Instrumente, d. h. sie zeigen bei gleichen Temperaturen eine gleiche Zahl von Graden.

Man kann Quecksilberthermometer construiren, welche bis zu 360 Grad gehen, weiter aber kann man nicht gehen, weil man sonst dem Siedepunkte des Quecksilbers (400^0) zu nahe kommt. Unter Null sind die Angaben des Quecksilberthermometers richtig bis — 30^0 oder — 35^0. Bei noch geringerer Temperatur kommt man dem Gefrierpunkte des Quecksilbers (— 40^0) zu nahe. In der Nähe der Temperaturen nämlich, bei welchen die Körper ihren Aggregatzustand ändern, ist ihre Ausdehnung nicht mehr regelmäßig.

Man hat beobachtet, daß bei vielen Thermometern der Nullpunkt mit der Zeit steigt, als ob die Kugel kleiner geworden wäre. Man hat dies besonders bei solchen Thermometern bemerkt, bei welchen über der Quecksilbersäule sich ein leerer Raum befindet. Die Ursache dieser Verrückung des Nullpunkts ist demnach ohne Zweifel der Druck der äußern Luft, dem von Innen kein Gegendruck entgegenwirkt, und der demnach die Kugel bis zu einer gewissen Grenze zusammendrückt. Es ist deshalb zu rathen, die Thermometer, nachdem man sie zugeschmolzen hat, einige Monate liegen zu lassen, bevor man sie graduirt. Auch darf man nicht versäumen, von Zeit zu Zeit die Richtigkeit des Nullpunkts zu prüfen.

Nicht bei allen Thermometern ist der Fundamentalbestand in 100 Grade getheilt. In Deutschland und Frankreich ist das Réaumur'sche Thermometer noch sehr verbreitet, bei welchem dieser Abstand in 80 Grade getheilt ist, obgleich man sich bei wissenschaftlichen Untersuchungen jetzt fast ausschließlich des von Celsius zuerst angegebenen hunderttheiligen Thermometers bedient. Es ist jedoch leicht, Celsius'sche Grade auf Réaumur'sche zu reduciren, und umgekehrt, denn da

$$100^0 \text{ C.} = 80^0 \text{ R.},$$

so ist

$$1^0 \text{ C.} = 0{,}8^0 \text{ R.}$$

und

$$1^0 \text{ R.} = 1{,}25^0 \text{ C.}$$

Es sind demnach x^0 C. $= x \,.\, 0{,}8^0$ R. und n^0 R. $= n \,.\, 2{,}25^0$ C. Man kann dies in Worten so ausdrücken: Um Réaumur'sche Grade in Celsius'sche zu verwandeln, multiplicirt man die Zahl der Réaumur'schen Grade mit 1,25 oder mit $^5/_4$. Will man umgekehrt Celsius'sche Grade in Réaumur'sche verwandeln, so multiplicirt man die gegebene Gradzahl mit 0,8 oder, was dasselbe ist, mit $^4/_5$.

In England bedient man sich ausschließlich der Fahrenheit'schen Scala, deren Nullpunkt nicht mit dem der beiden eben erwähnten zusammenfällt. Der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers trifft mit dem Theilstriche — $17^7/_9$ der Celsius'schen Scala zusammen. Der Schmelzpunkt des Eises ist auf derselben mit 32, der Siedepunkt des Wassers mit 212 bezeichnet, so daß also der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte des Wassers hier in 180 Grade getheilt ist. Es sind also dem dem absoluten Werthe nach

$$180^0 \text{ F.} = 100^0 \text{ C.},$$

mithin

$$1^0 \text{ F.} + {}^5/_9{}^0 \text{ C.}$$

und

$$1^0 \text{ C.} = {}^9/_5{}^0 \text{ F.}$$

Um jedoch die Angaben des einen dieser Thermometer auf die des andern zu reduciren, hat man noch zu berücksichtigen, daß die Nullpunkte derselben nicht zusammenfallen. Will man Fahrenheit'sche Grade in Celsius'sche verwandeln, so hat man von der gegebenen Grundzahl 32 abzuziehen und den Rest mit $^5/_9$ zu multipliciren. Es sind demnach

$$x^0 \text{ F.} = (x - 32)\ {}^5/_9{}^0 \text{ C.}$$

Will man Celsius'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandeln, so multiplicirt man mit $^9/_5$ und addirt zum Produkt 32. Es sind demnach

$$y^0 \text{ C.} = (y \,.\, {}^9/_5 + 32)^0 \text{ F.}$$

Zur leichtern Vergleichung der verschiedenen Scalen mag folgende Tabelle dienen:

Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.
— 20	— 16	— 4
— 10	— 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212.

Formeln für die Ausdehnung. Wenn ein fester Körper sich ausdehnt, so können wir unmittelbar nur die Vergrößerung seiner Längendimensionen, seine lineare Ausdehnung messen. Wenn eine Eisenstange bei 0^0 eine Länge von 2^m hat, so wird die Länge dieses Stabes, wenn er bis zu 100^0 erwärmt wird, $2{,}0024^m$ werden; der Stab ist also um 2,4 Millimeter länger geworden. Die Längenausdehnung, welche der Stab durch eine Temperaturerhöhung von 100^0 erlitten hat, verhält sich also zu seiner ursprünglichen Länge bei 0^0 wie 0,0024 : 2, oder wie 0,0012 : 1, d. h. der Stab hat sich um $\frac{12}{10000}$ seiner ursprünglichen Länge ausgedehnt. Die Zahl, welche angiebt, um den wievielten Theil seiner Länge (bei 0^0) sich ein fester Körper ausdehnt, wenn er bis 100^0 erwärmt wird, nennt man den Ausdehnungscoëfficienten. Man findet diesen Coëfficienten, wenn man die Größe der Ausdehnung, welche ein Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 erleidet, durch seine ursprüngliche Länge bei 0^0 dividirt. Bezeichnet also l diese ursprüngliche Länge, b die Größe der Ausdehnung, so ist der Ausdehnungscoëfficient

$$r = \frac{b}{l}.$$

Jeder feste Körper hat einen besondern ihm eigenthümlichen Ausdehnungscoëfficienten.

Wie die Erfahrung lehrt, dehnen sich fast alle festen Körper, wenigstens innerhalb der Grenzen von 0^0 bis 100^0, regelmäßig aus, d. h. ihre Ausdehnung ist der Zunahme der Temperatur proportional. Wir haben z. B.

111

gesehen, daß sich eine Eisenstange, welche bei 0° zwei Meter lang ist, um 2,4mm ausdehnt, wenn man sie bis auf 100° erwärmt; wenn man sie aber nur auf 50° erwärmt, so dehnt sie sich auch nur um die Hälfte, also um 1,2mm aus. Bei einer Temperaturerhöhung von 10°, von 1° dehnt sie sich demnach auch nur um 0,24mm, um 0,024mm aus. Wenn allgemein b die Ausdehnung eines Körpers für eine Temperaturerhöhung von 0° bis 100° ist, so ist $\frac{b}{100}$ die Ausdehnung, welche einer Temperaturerhöhung von 0° bis 1° entspricht; und wenn r der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 100° ist, so ist der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 1° gleich $\frac{r}{100}$. Bezeichnen wir den Werth von $\frac{r}{100}$ mit n, mit l aber die Länge eines Körpers bei 0°, so ist seine Länge bei 1° gleich $l + nl$ oder $l\,(1 + n)$. Bei einer Temperatur von t^0 aber ist seine Länge

$$l' = l\,(1 + nt).$$

Wenn drei der vier Größen l. l', n und t gegeben sind, so kann man die vierte berechnen.

112 **Die kubische Ausdehnung** ist die Vergrößerung, welche das Volumen eines Körpers durch die Temperaturerhöhung erleidet. Auch hier wird das Volumen des Körpers bei 0° zum Ausgangspunkt genommen, und unter dem Ausdehnungscoëfficienten versteht man hier die Zahl, welche angiebt, um den wievielsten Theil seines ursprünglichen Volumens bei 0° sich ein Körper ausdeht, wenn man ihn bis auf 100° erwärmt. Wenn man sagt, der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers sey 0,018, so heißt das, das Quecksilber dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 100° um $\frac{18}{1000}$ seines Volumens bei 0° aus. Kennt man den Ausdehnungscoëfficienten und das Volumen eines Körpers bei 0°, so kann man sein Volumen für eine Temperatur von t^0 auf dieselbe Weise berechnen, wie dies bei der Längenausdehnung der festen Körper gezeigt wurde, vorausgesetzt, daß die Ausdehnung des Körpers regelmäßig ist.

Bei tropfbar-flüssigen und gasförmigen Körpern wird durch den Versuch unmittelbar die körperliche Ausdehnung bestimmt, während bei festen Körpern die körperliche Ausdehnung aus der beobachteten linearen berechnet werden muß.

Der Ausdehnungscoëfficient für die körperliche Ausdehnung fester Körper ist dreimal so groß als der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung.

Man kann sich davon durch folgendes Raisonnement überzeugen. Es

sey l die Seite eines Würfels bei 0°, so ist l^3 das Volumen desselben, welches wir mit v bezeichnen wollen; wenn nun der Würfel bis auf 100° erwärmt wird, so ist jede Seite $l\,(1 + r)$, mithin ist jetzt der Inhalt des Würfels:

$$v' = l^3\,(1 + r)^3 = l^3\,(1 + 3r + 3r^2 + r^3).$$

Da aber r eine sehr kleine Größe ist, so kann man die höheren Potenzen derselben vernachlässigen, und der Werth von v' reducirt sich demnach auf

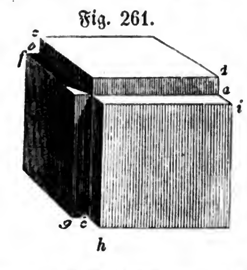
$$v' = l^3\,(1 + 3r) = v\,(1 + 3r).$$

Das Volumen v ist also um $3rv$ gewachsen; der Ausdehnungscoëfficient für das Volumen ist also $3r$.

Wir wollen versuchen, dies noch auf geometrischem Wege anschaulich zu machen.

Es sey $a\,b\,c$ ein aus irgend einem festen Körper gebildeter Würfel (Fig. 261) bei 0°. Wenn nun dieser Würfel bei einer Temperaturerhöhung von 100° sich nur nach Oben ausdehnte, so würde sein Volumen um die quadratische Platte $a\,d\,e\,b$ zunehmen, deren Inhalt $v\,r$ ist, wenn v das Volumen des ursprünglichen Würfels und r der Längen-Ausdehnungscoëfficient ist. Wenn sich der Würfel nur nach der linken Seite hin ausdehnte, so würde er hier um eine eben so große Platte $c\,g\,b\,f$ wachsen, und eine dritte Platte $a\,i\,h\,c$ endlich, deren Inhalt gleichfalls $r\,v$ ist, das Resultat der Ausdehnung des Körpers nach Vorne seyn. Der kubische Inhalt dieser drei Platten zusammen ist $3\,r\,v$. Zur Vollendung des durch die Wärme vergrößerten Würfels müßte freilich noch der Inhalt der Ecken hinzuaddirt werden, welche da einzupassen sind, wo je zwei der eben betrachteten Platten mit einer Kante zusammentreffen, allein die Größe derselben ist so unbedeutend, daß sie vernachlässigt werden kann, da ja die Größe der linearen Ausdehnung $d\,a$ sehr klein ist im Vergleich zu der Länge der Seiten des ursprünglichen Würfels, und man kann also $3\,r\,v$ ohne merklichen Fehler für die ganze Zunahme des Volumens ansehen.

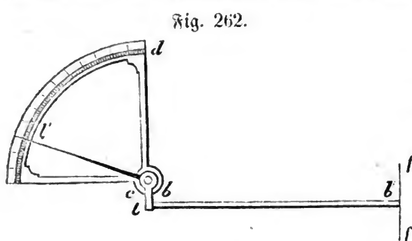
Fig. 261.



Ausdehnung fester Körper. Weil die Ausdehnung fester Körper 113 durch die Wärme sehr gering ist, so muß man auf Mittel sinnen, durch welche sie dem Auge vergrößert wird. Am einfachsten wird dies auf folgende Weise erreicht. Eine Stange $b\,b'$, Fig. 262 a. f. S., von dem zu untersuchenden Körper stützt sich mit einem Ende gegen den festen Widerhalt $f\,f'$, während ihr anderes Ende gegen den kürzeren Arm eines Winkelhebels $l\,c\,l'$ stößt, der sich um den festen Punkt c drehen kann. Wenn nun das Ende l des kürzern Hebelarmes durch die Ausdehnung der Stange $b\,b'$ auch nur wenig fortgeschoben wird, so wird das andre Ende l' einen

weit größern Weg zurücklegen, und man kann auf diese Weise die kleinste Verlängerung der Stange $b\,b'$ noch sichtbar machen, wenn nur die Länge $c\,l'$ sehr groß ist im Vergleich zu $c\,l$.

Fig. 262.

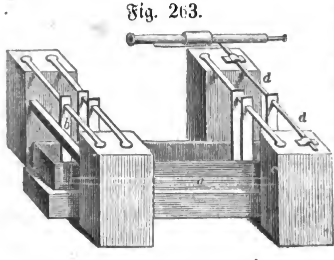


Die größte Schwierigkeit hierbei ist, daß man nicht leicht die feste Widerlage $f\,f'$ und die Drehungsaxe c vollkommen unverrückbar machen kann, denn der Abstand derselben muß durchaus unverändert bleiben, wenn die Resultate genau seyn sollen. Wenn der Punkt c und die Widerlage $f\,f'$ Theile derselben Unterlage ausmachen, so wird sich diese selbst bei einer Temperaturerhöhung ausdehnen und der fragliche Abstand größer werden.

Diese Fehlerquelle ist auf eine äußerst sinnreiche Weise in dem Apparat vermieden, dessen sich Lavoisier und Laplace bedienten, um die Ausdehnung fester Körper zu bestimmen.

Eine aus dem zu prüfenden Material verfertigte Stange a, Fig. 263, lag horizontal auf gläsernen Stäben, über welche sie frei hingleiten konnte. Als Widerhalt für das eine Ende dieses Stabes diente ein verticaler gläserner Stab b, der an einem horizontalen eisernen Querstabe hing, dessen Ende in zwei große in den Boden eingesenkte massive Pfeiler von Stein eingekittet waren. Das andre Ende des Stabes a war in unmittelbarer Berührung mit einem ähnlichen gläsernen Stabe c, der von einem um seine Axe leicht drehbaren Stabe d getragen wurde. An der Verlängerung dieser Stange war ein auf eine weit entfernte Scala gerichtetes Fernrohr befestigt. Hier ist der Glasstab c der kürzere, die nach der Scala gerichtete Visirlinie aber der längere Hebelarm. Wenn durch die Ausdehnung der Stange a das untere Ende der Stange c auch nur unbedeutend verrückt wird, so wird dadurch die Visirlinie des Fernrohrs gedreht, und man kann die kleinste Drehung auf der entfernten Scala ablesen. Eine Verrückung der Axe d und der festen Widerlage ist hier ganz unmöglich.

Fig. 263.

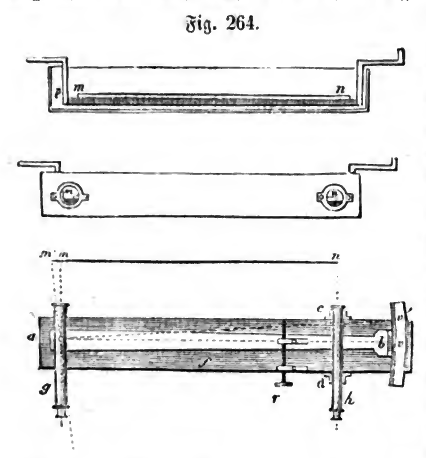


Zwischen den vier Pfeilern befindet sich ein Kasten, der mit Wasser oder

mit Oel gefüllt wird, welches gehörig erhitzt werden kann, und in welches der zu untersuchende Stab eingetaucht ist.

Dieser Apparat ist jedoch füglich nur bis 250°, höchstens 300° anwendbar. Der folgende Apparat ist von diesem Uebelstande frei und kann außerdem noch dienen, die Länge des Meters und anderer Längenmaße zu vergleichen und auch noch die kleinsten Differenzen sichtbar zu machen.

Fig. 264.

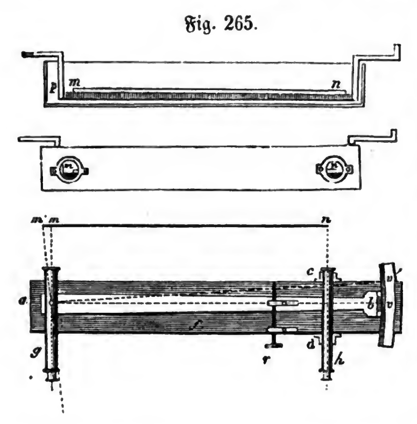


Auf einer starken Platte f von Eisen, Fig. 264, ist eine Alhidade ab befestigt, welche 1,1 bis 1,2 Meter lang und um den festen Punkt a drehbar ist. Diese Alhidade trägt ein Fernrohr g von kurzer Sehweite. Ein zweites Fernrohr ist auf der Platte in c und d befestigt, so daß es die Drehung der Alhidade zwischen c und d nicht hindert. Bringt man nun einen Stab mn so vor die Fernröhre, daß die Punkte m und n gerade in ihr Fadenkreuz fallen, und daß sich alsdann der Stab um mm' ausdehnt, während der Punkt n fest bleibt, so muß man die Alhidade ab um einen bestimmten Winkel drehen, damit der Punkt m' wieder ins Fadenkreuz des Fernrohrs g komme; das Ende b muß also einen Bogen vv' auf der Theilung durchlaufen, welche hier auf der Platte f befestigt ist. Ist nun ein für allemal das Verhältniß der Hebelarme am und ab bekannt, so kann man leicht mm' bestimmen, denn

$$\frac{mm'}{vv'} = \frac{am}{ab}.$$

Es kommt also Alles darauf an, mit Sorgfalt das Verhältniß dieser Hebelarme zu bestimmen. Zu diesem Zwecke bringt man in m rechtwinklig zur Visirlinie des beweglichen Fernrohrs ein kleines Metallstückchen an, auf welches mit möglichster Genauigkeit vier bis fünf Millimeter gezogen sind; läßt man nun das Fadenkreuz des Fernrohrs g nach und nach diese Abtheilungen durchlaufen, so beobachtet man, wie viel Millimeter das Ende b gleichzeitig an seiner Theilung durchläuft, wodurch dann das gesuchte Verhältniß der Hebelarme bestimmt ist. Um die Drehung der Alhidade möglichst genau bestimmen zu können, befindet sich in b noch ein

Fig. 265.



Nonius, der mit Hülfe eines Mikroskops abgelesen wird.

Zur feinern Verschiebung der Alhidade und zum richtigen Einstellen des Fernrohrs g dient die Stellschraube r.

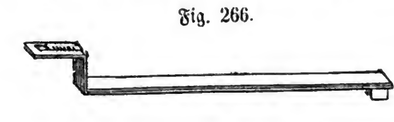
Wenn man diesen Apparat anwenden will, um Ausdehnungen unter 300° zu messen, so bedient man sich eines Kastens von Kupfer. Man setzt diesen auf einen passenden Ofen, füllt ihn mit fixem Oel, welches man lange genug unter beständigem Rühren auf constanter Temperatur erhalten kann. Der Stab, welchen man der Beobachtung unterwerfen will, ist auf eine Unterlage von Eisen gelegt, welche auf dem Kasten ruht, so daß ihre Lage durch ein Schraubensystem gehörig regulirt werden kann. Die Enden des Stabes mn kommen gerade an zwei Seitenöffnungen zu liegen, welche durch Glasplatten verschlossen werden, die ganz einfach gegen die Wand des Kastens angedrückt sind. Man kann es leicht dahin bringen, daß das Ende n des Stabes bei jeder Beobachtung gerade vor das Fadenkreuz des festen Fernrohrs zu liegen kommt, während man mit dem beweglichen Fernrohre mittelst der Stellschraube r die Bewegung des andern Endes m verfolgt.

Um die Ausdehnung bei hohen Temperaturen zu beobachten, wird der Stab auf eine andere Unterlage von Eisen in einen Ofen von Backsteinen gebracht, durch welchen man heiße Luft oder selbst die Flamme streichen läßt. An diesem Orte befinden sich, den Fernröhren gegenüber, kleine Löcher, welche man in dem Augenblicke der Beobachtung öffnet. Wenn die Temperatur des Stabes noch unter der Rothglühhitze ist, so muß man die Punkte, auf welche man visirt, künstlich erleuchten. Wie man zu gleicher Zeit die entsprechenden Temperaturen bestimmt, werden wir später sehen.

Dulong und Petit haben wieder ein anderes Verfahren angewandt, die Ausdehnung fester Körper zu bestimmen, welches auf der Differenz zwischen der scheinbaren und absoluten Ausdehnung des Quecksilbers, wovon später noch die Rede seyn wird, beruht. Nachdem auf diese Weise

die Ausdehnung des Glases und des Eisens bestimmt war, bedienten sie sich, um die Ausdehnung anderer festen Körper zu finden, des von Borda bei Gelegenheit seiner Gradmessung ersonnenen Pyrometers. Dieses Pyrometer ist Fig. 266 dargestellt. Es besteht aus zwei Metallstäben von

Fig. 266.



verschiedenem Metalle, welche ihrer ganzen Länge nach auf einander gelegt und an dem einen Ende fest verbunden sind. Am andern Ende trägt jeder Metallstab ein Messingstück, welches zuerst vertikal aufsteigt und dann horizontal umgebogen ist. Die horizontalen Arme dieser Ansatzstücke können frei an einander hergleiten, wenn die Metallstäbe sich ungleich ausdehnen; da sie aber an der Linie, mit welcher sie zusammenstoßen, eingetheilt sind, und zwar so, daß die Theilung des einen einen Nonius für den andern bildet, daß also etwa 19 Theile der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der andern sind, so kann man mit Hülfe dieses Nonius sehr genau die Differenz der Ausdehnung der beiden Metallstäbe ablesen. Wenn nun die Ausdehnung des einen bekannt ist, so kann man leicht mit Hülfe der eben beobachteten Differenz die Ausdehnung des andern bestimmen. Die Stäbe, welche Dulong und Petit anwandten, waren 12 Decimeter lang, 25 Millimeter breit und 4 Millimeter dick.

Wenn der Coëfficient für die lineare Ausdehnung eines Körpers bekannt ist, so kann man, wie schon bemerkt wurde, den Coefficienten für die kubische Ausdehnung berechnen. So ist z. B. der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung des Glases 0,000862, folglich der Coëfficient für die Vergrößerung des Volumens 0,002586. Wenn nun ein Glasgefäß erwärmt wird, so dehnt es sich aus, sein Inhalt wird größer. Die Vermehrung der Capacität des Gefäßes läßt sich leicht berechnen. Es sey z. B. der Inhalt eines Glasgefäßes bei 0^0 gleich 1 Liter = 1000 Kubikcent., so wird sein Inhalt bei $100^0 = 1000\ (1 + 0{,}00258)^{kc}$ oder, was dasselbe ist, $1002{,}58^{kc}$, d. h. der Inhalt ist um $2\frac{1}{2}^{kc}$ größer geworden.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der besten Beobachtungen über die Ausdehnung fester Körper.

Tabelle der linearen Ausdehnung fester Körper.

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung.	
		in Decimalbrüchen.	in gewöhnl. Brüchen.
Nach Lavoisier und Laplace:			
Englisches Flintglas	0 bis 100°	0,00081166	$^1/_{1248}$
Platin (nach Borda)	» » »	0,00085655	$^1/_{1167}$
Französisches bleihaltiges Glas	» » »	0,00087199	$^1/_{1147}$
Bleifreie Glasröhren	» » »	0,00087572	$^1/_{1142}$
» »	» » »	0,00089694	$^1/_{1115}$
» »	» » »	0,00089760	$^1/_{1114}$
» »	» » »	0,00091750	$^1/_{1090}$
Glas von St. Gobain	» » »	0,00089089	$^1/_{1122}$
Stahl (nicht gehärtet)	» » »	0,00107880	$^1/_{927}$
» » »	» » »	0,00107915	$^1/_{927}$
» » »	» » »	0,00107[illegible]60	$^1/_{926}$
Stahl (gehärtet)	» » »	0,00123956	$^1/_{807}$
Weiches Eisen, geschmiedet	» » »	0,00122045	$^1/_{819}$
Stabeisen	» » »	0,00123504	$^1/_{812}$
Gold	» » »	0,00146606	$^1/_{682}$
»	» » »	0,00151361	$^1/_{661}$
»	» » »	0,00156155	$^1/_{645}$
Kupfer	» » »	0,00171220	$^1/_{584}$
»	» » »	0,00171733	$^1/_{582}$
»	» » »	0,00172240	$^1/_{581}$
Messing	» » »	0,00186760	$^1/_{535}$
»	» » »	0,00187821	$^1/_{533}$
»	» » »	0,00188970	$^1/_{529}$
Silber	» » »	0,00190868	$^1/_{524}$
»	» » »	0,00190974	$^1/_{524}$
Zinn	» » »	0,00193765	$^1/_{516}$
»	» » »	0,00217298	$^1/_{462}$
Blei	» » »	0,00284836	$^1/_{351}$
Nach Smeaton:			
Weißes Glas (Barometerröhren)	0 bis 100°	0,00083333	$^1/_{1175}$
Antimon	» » »	0,0010833	$^1/_{923}$
Stahl	» » »	0,00115000	$^1/_{870}$
Gehärteter Stahl	» » »	0,00122500	$^1/_{816}$
Eisen	» » »	0,00125833	$^1/_{795}$
Wismuth	» » »	0,00139167	$^1/_{719}$
Kupfer, gehämmert	» » »	0,00170000	$^1/_{588}$

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Kupfer, 8 Theile mit 1 Theil Zinn	0 bis 100°	0,00181667	1/550
Messing, gegossen	» » »	0,00187500	1/533
Messingdraht	» » »	0,00193333	1/517
Spiegelmetall zu Teleskopen . .	» » »	0,00193333	1/517
Loth (2 Thle. Kupfer, 1 Thl. Zink)	» » »	0,00205833	1/486
Feines Zinn	» » »	0,00228333	1/438
Weißes Loth (1 Thl. Zinn 2 Thle. Blei)	» » »	0,00250533	1/399
Blei	» » »	0,00286667	1/349
Zink	» » »	0,00294167	1/340
Nach Roy:			
Glas in Röhren	0 bis 103°	0,00077550	1/1289
Glas, solider Stab	» » »	0,00080833	1/1237
Eisen, gegossenes Prisma . . .	» » »	0,0011100	1/901
Stahl	» » »	0,00114450	1/874
Messing von Hamburg	» » »	0,00185550	1/539
Messing, englisches	» » »	0,00189296	1/528
Nach Troughton:			
Platin	0 bis 100°	0,00099180	1/1008
Stahl	» » »	0,00118990	1/840
Eisen (in Drahtzug gezogen) . .	» » »	0,00144010	1/694
Kupfer	» » »	0,00191880	1/521
Silber	» » »	0,00208260	1/480
Nach Wollaston:			
Palladium	0 bis 100°	0,00100000	1/1000
Nach Dulong und Petit:			
Platin	0 bis 100°	0,00088420	2/1131
	0 bis 300°	0,00275482	1/363
Glas	0 bis 100°	0,00086133	1/1161
	0 bis 200°	0,00184502	1/434
	0 bis 300°	0,00303252	1/329
Eisen	0 bis 100°	0,00118210	1/846
	0 bis 300°	0,00440528	1/227
Kupfer	0 bis 100°	0,00171820	1/582
	0 bis 300°	0,00564972	1/177

Von 0 bis 100° ist im Allgemeinen die Ausdehnung der festen Körper regelmäßig, über 100° hinaus aber nimmt sie zu.

214 **Anwendung der Ausdehnung fester Körper.** Die Kraft, mit welcher sich die Körper ausdehnen, ist gleich dem Widerstande, den sie einer Compression entgegensetzen. Es sey ein Gewicht von 1000 Kilogrammen nöthig, um eine vertikale Eisenstange gerade um so viel zusammenzudrücken, als sie sich bei einer Temperaturerniedrigung von 1⁰ zusammenzieht; so ist klar, daß, wenn man die Stange mit einem Gewicht von 1000^{kg} belastet, sie aber um 1⁰ erwärmt, sich alsdann die durch die Wärme veranlaßte Ausdehnung und die durch die Last bewirkte Compression compensiren, daß also ihre Länge unverändert bleibt. Man kann daraus schließen, mit welcher ungeheuren Kraft sich die Körper ausdehnen und zusammenziehen. Die Flüssigkeiten, welche etwas compressibel sind, sich aber stark ausdehnen, können die größten Wirkungen dieser Art hervorbringen. Wegen der Ausdehnung des Eisens darf man bei größeren Bauten, wo eine größere Zahl von Eisenstäben an einander gereiht werden muß, z. B. bei Eisenbahnen, nicht ein Stück genau an das andere anstoßen lassen, sondern man muß sie so in einander schieben, daß noch ein kleiner Zwischenraum für die Ausdehnung bleibt. Bei Röhrenleitungen ist die Sache schwieriger; man erreicht hier den Zweck durch Bleistreifen, mit welchen man dasjenige Ende der Röhre umwickelt, welches in die weitere Oeffnung der folgenden Röhre hineingesteckt wird.

Die Kraft, mit welcher sich die Körper beim Erkalten zusammenziehen, ist gleich dem Widerstande, den sie einer Kraft entgegensetzen, welche sie aus einander zieht. Wenn eine Kraft von 1000^{kg} nöthig ist, um eine Eisenstange so viel zu verlängern, wie dies auch durch eine Temperaturerhöhung von 1⁰ geschieht, so ist klar, daß, wenn man an den Eisenstab eine Last von 1000^{kg} hängt und die Temperatur um 1⁰ erniedrigt, alsdann die durch Erkaltung bewirkte Contraction und die durch den Zug bewirkte Verlängerung sich compensiren. Da die Dehnbarkeit des Eisens sehr groß ist, so kann man diese Eigenschaft benutzen, um Wirkungen hervorzubringen, welche man wohl kaum mit anderen mechanischen Mitteln hervorbringen könnte. Man muß diese Eigenschaft wohl berücksichtigen, wenn man Materialien anwendet, die einem großen Temperaturwechsel unterworfen sind. Wenn z. B. eine Eisenstange zwischen zwei festen Widerlagen steht, welche sie durch die Kraft ihrer Ausdehnung nicht fortrücken kann, so muß sich die Eisenstange biegen; und wenn die Enden einer Eisenstange so befestigt sind, daß sie beim Erkalten durch die Kraft, mit welcher die Zusammenziehung erfolgt, nicht genähert werden können, so muß die Stange reißen. Daher kommt es, daß beim Gießen häufig Stücke zerbrechen, wenn man bei den Formen nicht Rücksicht darauf genommen hat, daß sich das Metall beim Erkalten gehörig zusammenziehen kann.

Compensationsnadel. Da alle Körper sich durch die Wärme ausdehnen, so wird ein aus einer einfachen Stange gebildetes Pendel bei höherer Temperatur länger seyn als bei niedriger, es wird im Sommer also langsamer schwingen als im Winter, und wenn ein solches Pendel zur Regulirung einer Uhr angewendet wird, so ist der Gang der Uhr von der Temperatur abhängig. Bei den Compensationspendeln ist dieser nachtheilige Einfluß der Ausdehnung vermieden. Fig. 267 stellt ein Compensationspendel der einfachsten Art dar. Auf dem untern horizontalen Bügel des Rahmens $a\ d$, welcher von Eisen ist, sind zwei vertikale Stäbe von einem andern Metall befestigt, welches sich stärker ausdehnt als das Eisen. Diese Stäbe tragen einen horizontalen Bügel $n\ x$, an dem wieder eine eiserne Stange hängt, welche die Linse trägt. Durch die Verlängerung der äußern und mittelsten Eisenstange wird die Linse gesenkt, durch die Ausdehnung der in der Figur dunklern Stäbe aber wird sie gehoben. Gesetzt, jede der helleren Stangen verlängere sich um 1^{mm}, so wird dadurch die Linse um 2^{mm} gesenkt; wenn aber nun jede der dunkleren Stangen sich um 2^{mm} verlängert, so wird die Linse dadurch wieder um 2^{mm} gehoben, die Pendellänge bleibt also unverändert.

Fig. 267.

Compensationsstreifen nennt man ein System von zwei Metallstreifen, welche sich ungleich ausdehnen, und welche entweder zusammengelöthet oder zusammengenietet sind. Gesetzt, der eine Streifen sey von Zink, der andere von Eisen, und das System bilde bei 20° eine gerade Linie, so wird es sich bei höherer Temperatur so biegen, daß das Zink außen ist, Fig. 268, weil sich das Zink stärker ausdehnt. Unter 20° wird sich der Streifen auf die entgegengesetzte Weise krümmen, so daß das Zink innen ist, weil sich das Zink stärker zusammenzieht. Man hat dies bei der Construction der Unruhe in Chronometern benutzt, um den Seeleuten Uhren in die Hand zu geben, deren Genauigkeit nichts zu wünschen übrigläßt.

Fig. 268.

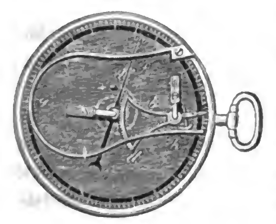


Fig. 269.

Quadrantenthermometer, Fig. 269. Der Compensationsstreifen fgh, aus Kupfer und Stahl zusammengesetzt, ist bei f befestigt und krümmt sich über g nach h. Um eine Axe dreht sich ein Hebel, dessen kurzer Arm stets gegen den Streifen bei h angelehnt und dessen größerer Arm b mit Zähnen $d\ d'$

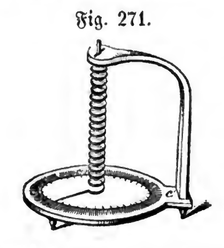
versehen ist. Die kleinen Bewegungen, welche durch die Ausdehnung am Ende h bewirkt werden, sind auf diese Weise schon im Verhältniß der Hebelarme vergrößert. Die Zähne $d\,d'$ greifen in ein kleines, um die centrale Axe drehbares Getriebe; die Nadel $l\,i$ endlich, welche um dieselbe Axe drehbar ist, vergrößert noch die Bewegung des Getriebes. Wenn sich der Compensationsstreifen in Folge einer Temperaturveränderung stärker krümmt, so werden dadurch die Zähne in der Richtung von d nach d' gedreht, während, wenn der Compensationsstreifen sich nach entgegengesetzter Richtung bewegt, die rückgängige Bewegung des Zeigers durch eine um die centrale Axe gewundene Spiralfeder bewirkt wird. Man berechnet die Dimensionen so, daß eine Temperaturerhöhung von 100° C. ungefähr eine Umdrehung der Nadel bewirkt. Instrumente dieser Art müssen nach einem Quecksilberthermometer graduirt werden, entweder von Grad zu Grad, oder doch wenigstens von 10 zu 10 Grad.

Fig. 270.



Breguet's Thermometer ist unter allen Metallthermometern das empfindlichste. Es besteht aus einem 1 bis 2 Millimeter breiten Bande von Metall, welches spiralförmig aufgewunden ist, wie Fig. 271 zeigt. Oben ist die Spirale an einem Stücke Messing befestigt, von dem sie frei herunterhängt. An ihrem untern Ende trägt sie eine horizontale, sehr leichte Nadel, deren Spitze einen getheilten Kreis durchläuft. Die Kreisscheibe ist in der Mitte durchbrochen und ruht auf drei Füßen, damit die Luft leicht zwischen den Windungen der Spiralen circuliren kann. Der ganze Apparat ist mit einer Glasglocke bedeckt, damit er vor äußeren Störungen gesichert ist.

Fig. 271.



Das Spiralband ist aus drei über einander gelegten Metallschichten zusammengesetzt, Silber, Gold und Platin; der Goldstreifen ist in der Mitte und dient, um die beiden anderen Metalle zusammenzulöthen. Da ein solches System immer noch eine bedeutende Dicke hat, so wird es ausgewalzt, bis seine ganze Dicke $\frac{1}{60}$ Millimeter beträgt. Man kann daraus schließen, wie außerordentlich gering die Masse dieses Bandes ist, und wie schnell es also die Temperatur der Luft annimmt, die es berührt.

Durch die ungleiche Ausdehnung von Silber und Platin wird die

Spirale auf- und zugewunden; wenn also die Temperatur steigt oder sinkt, so wird sich die Nadel bewegen. Auch dieses Instrument wird nach einem Quecksilberthermometer graduirt.

115 **Ungleiche Ausdehnung der Krystalle nach verschiedenen Richtungen.** Mitscherlich hat nachgewiesen, daß Krystalle, welche nicht dem regulären System angehören, nach verschiedenen Richtungen hin eine ungleiche Ausdehnung durch die Wärme erleiden.

Es läßt sich dies am leichtesten am krystallisirten Gyps und zwar an der Varietät nachweisen, von welcher schon in der Lehre vom Lichte die Rede war. Man findet häufig Zwillingskrystalle dieses Minerals, welche ungefähr die Gestalt Fig. 272 haben und unter dem Namen »Schwalbenschwänze« bekannt sind. Aus einer solchen Platte wird ein Stück in der Weise herausgeschnitten, daß die Schnittflächen ab und de rechtwinklig auf der Zusammensetzungsfläche mm' der beiden Individuen stehen. Bei der Temperatur, bei welcher der Krystall geschliffen wird, sind

Fig. 272.

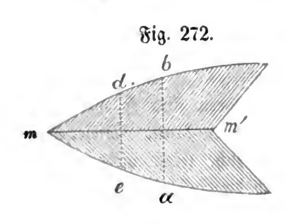
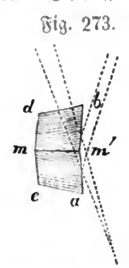


Fig. 273.



diese beiden Schnittflächen vollkommen eben; sobald man aber den Krystall auf 60 bis 80^{0} erwärmt, erscheinen die beiden Flächen gebrochen, wie dies in Fig. 273 angedeutet ist, denn man erblickt, nach $bm'a$ hinsehend, zwei Spiegelbilder eines entfernten Gegenstandes, woraus hervorgeht, daß der Krystall durch ungleichförmige Ausdehnung seine Gestalt verändert hat.

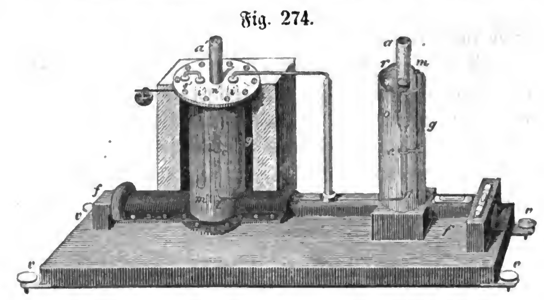
Aehnliche Erscheinungen lassen sich auch hervorbringen, wenn man zwei Krystalle so zusammenkittet, daß die Richtung der Axen in beiden verschieden ist, und dann in ähnlicher Weise eine Fläche anschleift, wie beim Gypszwilling; diese Fläche wird alsdann beim Erwärmen gebrochen erscheinen.

116 **Ausdehnung der Flüssigkeiten.** Bei den Flüssigkeiten haben wir eine absolute und eine scheinbare Ausdehnung zu unterscheiden. Die scheinbare Ausdehnung ist die, welche man an den in Gefäßen eingeschlossenen Flüssigkeiten wirklich beobachtet; die absolute Ausdehnung dagegen ist diejenige, welche man beobachten würde, wenn sich das Gefäß selbst durchaus nicht ausdehnte.

Dulong und Petit haben die absolute Ausdehnung des Quecksilbers direct mittelst eines Apparates bestimmt, welcher auf dem hydrostatischen Principe beruht, daß die Höhe flüssiger Säulen, welche sich das Gleichgewicht halten, im umgekehrten Verhältnisse der Dichtigkeit steht.

In Fig. 274 stellen $a\,t$ und $a'\,t'$ zwei vertikale Röhren dar, welche durch die horizontale Röhre $t\,t'$ verbunden sind; sie werden bis zur

Fig. 274.



Höhe $n\,n'$ mit Quecksilber gefüllt. Die Röhren sind so weit, daß die Capillarität keinen nachtheiligen Einfluß ausüben kann. Dieser Apparat ist auf einer eisernen Platte $f\,f$ befestigt, welche selbst wieder auf einem starken Brette von Holz ruht, welches durch die Schrauben v ins Niveau gestellt werden kann. Die eisernen Stäbe m und m' mit den Ringen c und c' erhalten die Röhren in vertikaler Stellung. Der Stab m endigt oben mit einem eisernen Bügel, dessen Ende r als Visirpunkt dient.

Einer der Schenkel wird fortwährend auf der Temperatur von 0° erhalten, während der andere nach und nach erwärmt wird, und Alles kommt darauf an, mit Genauigkeit die ungleichen Höhen der beiden Quecksilbersäulen und die Temperatur der erwärmten zu bestimmen.

Die Höhe der Säulen über der Axe der Röhre $t\,t'$ werden durch ein besonderes Instrument gemessen, welches man Kathetometer nennen kann. Ein mit drei Stellschrauben versehener Fuß, Fig. 275, trägt einen massiven vertikalen Stab, um welchen sich eine Hülse a frei, jedoch mit etwas Reibung, drehen läßt. Ein getheilter Stab $b\,b$ ist an dieser Hülse befestigt. Der getheilte Stab ist durch einen Ansatz c unbiegsam gemacht. Ein horizontales Fernrohr d, welches mit einer Libelle e, einer Corrections- und einer Stellschraube versehen ist, kann auf der ganzen Länge des getheilten Stabes $b\,b$ auf- und niedergeschoben werden. Der Träger des Fernrohrs ist mit einem Nonius versehen, welcher sich an der Theilung

des Stabes hin bewegt, und mit Hülfe dessen man noch $^1/_{20}$ bis $^1/_{30}$ Millimeter schätzen kann. Um das Instrument zu reguliren, wird das Fernrohr mittelst der Libelle genau horizontal gestellt und dann das ganze Instrument mittelst der Stellschraube des Fußes so gerichtet, daß man mit dem getheilten Stabe eine ganze Umdrehung um die feste Axe machen kann, ohne daß das Niveau der Libelle sich ändert. Fig. 275 stellt den Aufriß, Fig. 277 den Grundriß und Fig. 276 die Ansicht des Fernrohrs von der andern Seite dar.

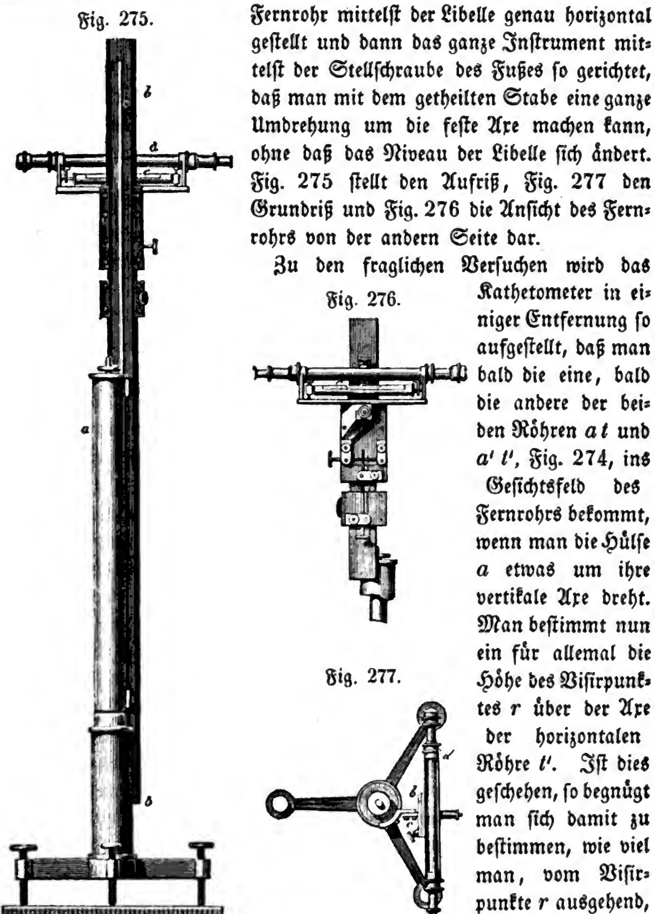


Fig. 275. Fig. 276. Fig. 277.

Zu den fraglichen Versuchen wird das Kathetometer in einiger Entfernung so aufgestellt, daß man bald die eine, bald die andere der beiden Röhren *a t* und *a' t'*, Fig. 274, ins Gesichtsfeld des Fernrohrs bekommt, wenn man die Hülse *a* etwas um ihre vertikale Axe dreht. Man bestimmt nun ein für allemal die Höhe des Visirpunktes *r* über der Axe der horizontalen Röhre *t'*. Ist dies geschehen, so begnügt man sich damit zu bestimmen, wie viel man, vom Visirpunkte *r* ausgehend, das Fernrohr auf- oder niederschieben muß, um die Gipfel der beiden Quecksilbersäulen nach einander in die Richtung der Axe des Fernrohrs zu bringen.

Die Temperaturen werden auf folgende Art bestimmt. Ein Cylinder *g*, welcher die Röhre *a t* umgiebt, wird mit gestoßenem Eise angefüllt. Nach dem Gipfel der Quecksilbersäule visirt man durch ein Fenster *o*. Da die

Temperatur des Stabes m immer unverändert bleibt, so ist auch der Visirpunkt r vollkommen fest. Die Röhre $a'\, t'$ ist ebenfalls von einem Cylinder g aus Kupferblech umgeben, der mit einem fixen Oele angefüllt wird, welches wenigstens bis 300° erhitzt werden kann, ohne zu kochen. Dieser Kupfercylinder ist wieder von einem Ofen umgeben, welcher dazu dient, die Temperatur des Oelbades zu erhöhen. Vor jeder Beobachtung wurden alle Oeffnungen des Ofens verschlossen, in Folge dessen die Temperatur wenigstens so lange Zeit, als man zur Beobachtung nöthig hat, constant bleibt.

Die Temperatur wird durch zwei Thermometer i und i' bestimmt, von denen das eine ein Luftthermometer, das andere ein Gewichts-Quecksilberthermometer ist. Die Einrichtung und den Gebrauch derselben werden wir alsbald kennen lernen.

Nach dieser Methode, welche von der Ausdehnung des Glases ganz unabhängige Resultate giebt, fanden Dulong und Petit, daß sich das Quecksilber bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° um $\frac{1}{55,50}$ oder, was dasselbe ist, um 0,018018 . . . seines Volumens ausdehnt, d. h. wenn man mit v das Volumen einer Quecksilbermasse bei 0° bezeichnet, so wird dieselbe Masse bei 100° ein Volumen 1,018 . v einnehmen.

Wenn man die Temperaturen des Oelbades nach dem Luftthermometer bestimmt, so findet man, daß der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers über 100° hinaus zunimmt.

Die scheinbare Ausdehnung einer Flüssigkeit ist die Differenz zwischen ihrer absoluten Ausdehnung und der kubischen Ausdehnung des Gefäßes, in welchem sie sich befindet. Um die scheinbare Ausdehnung zu bestimmen, kann man die beiden folgenden Methoden anwenden.

Man beobachtet den Gang eines Thermometers, von welchem man ganz genau ausgemittelt hat, in welchem Verhältnisse das Volumen eines solchen Röhrenstücks, welches zwischen zwei Theilstrichen liegt, zum Inhalte der Kugel steht. Es ist in der Regel mit großen Schwierigkeiten verbunden, dieses Verhältniß genau zu bestimmen.

Die zweite Methode beruht auf der Anwendung eines sogenannten Gewichtsthermometers, welches so eben schon erwähnt wurde. Ein Glasgefäß, am besten von der Fig. 278 dargestellten Form, welches in eine feine gekrümmte Spitze ausgezogen ist, wird mit Quecksilber von 0° gefüllt. Man bestimmt alsdann das Gewicht des bei 0° im Gefäße enthaltenen Quecksilbers und erwärmt es, indem man es in ein geeignetes Wasser- oder Oelbad bringt. Je mehr die Temperatur steigt, desto mehr Quecksilber wird aus der feinen Oeffnung hervordringen. Aus der Menge des Queck-

Fig. 278.

silbers, welches auf diese Weise aus dem Gefäße heraustritt, kann man die scheinbare Ausdehnung ermitteln. Gesetzt, das Quecksilber, welches bei 0° einen solchen Apparat füllt, habe 264 Gramm gewogen; man habe es bis 100° erwärmt, und dabei sey so viel Quecksilber ausgetreten, daß das, was im Gefäße zurückbleibt, nur noch 260 Gramm wiegt, so ist klar, daß das Quecksilber, wenn man die Ausdehnung des Gefäßes nicht berücksichtigen müßte, bei einer Temperaturerhöhung von 100° sich im Verhältniß von 260 zu 264 ausdehnte, d. h. also, die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers von 0° bis 100° beträgt $\frac{4}{260}$ oder $\frac{1}{65}$.

Das Seite 284 angeführte Gewichts-Quecksilberthermometer, mit Hülfe dessen man die Temperatur des Oelbades bestimmt, ist ein Apparat dieser Art. Man bestimmt die Temperatur nach der Quantität des ausgetretenen Quecksilbers.

Wenn die scheinbare Ausdehnung einer Flüssigkeit und die kubische Ausdehnung des Gefäßes bekannt ist, so kann man die absolute Ausdehnung berechnen; umgekehrt kann man die kubische Ausdehnung des Gefäßes bestimmen, wenn man die absolute und scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeit kennt.

Dulong und Petit fanden für die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in Glasgefäßen von 0° bis 100° $\frac{1}{64{,}80}$, oder, was dasselbe ist, 0,015432. Da nun die absolute Ausdehnung des Quecksilbers nach ihren Versuchen für eine gleiche Temperaturerhöhung 0,018018 ist, so ist die kubische Ausdehnung des Glasgefäßes $0{,}018018 - 0{,}015432 = 0{,}002586$. Nun aber findet man den Ausdehnungscoëfficienten für die lineare Ausdehnung eines Körpers, wenn man den Ausflußcoëfficienten für die kubische Ausdehnung durch 3 dividirt. Für die Längenausdehnung des Glases ergiebt sich demnach der Ausdehnungscoëfficient 0,000862, wie man ihn auch auf Seite 277 angegeben findet. Auf diesem Wege haben Dulong und Petit wirklich den Ausdehnungscoëfficienten des Glases bestimmt.

Durch sehr genaue Versuche hat Regnault gezeigt, daß die Ausdehnung verschiedener Glassorten bei höheren Temperaturen so ungleichförmig ist, daß dadurch ein ganz verschiedener Gang der Thermometer veranlaßt wird, so daß zwei Thermometer, deren Kugeln aus verschiedenen Glassorten gefertigt sind und welche zwischen 0° und 100° genau mit einander gehen, über 100° hinaus differiren. So gab ein Thermometer von Krystallglas 340,07 Grad an, während ein bis 100° mit ihm harmonirendes gleichzeitig in demselben Oelbade 333,72° zeigte; die Differenz beider Thermometer betrug also 6,35°.

Die meisten Füssigkeiten dehnen sich selbst zwischen 0° und 100° nicht regelmäßig aus, wie wir dies alsbald sehen werden.

Um die Ausdehnung verschiedener flüssiger Körper durch den Versuch zu bestimmen, kann man sich eines Apparates bedienen, wie der ist, welcher Fig. 278 abgebildet ist und benutzt wird, die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers zu finden; ungleich bequemer aber ist der Fig. 279 abgebildete, von Gay-Lussac angegebene Apparat. Der Hals eines Glasgefäßes von entsprechender Größe ist an einer Stelle ganz eng ausgezogen, so daß sich über der engen Stelle gewissermaßen ein Trichter befindet. Die engste Stelle des Halses *a* ist auf irgend eine Weise markirt. Man füllt nun die Kugel mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, so daß sie noch über *a* hinaus im Trichter steht, und erkaltet das Ganze bis auf 0°, indem man den ganzen Apparat mit schmelzendem Schnee oder schmelzendem Eise umgiebt. Ist die Flüssigkeit bis auf 0° erkaltet, so entfernt man alle Flüssigkeit, welche noch über der Marke steht. Wenn man die so gefüllte Kugel wiegt, vom gefundenen Gewichte das des Glasgefäßes abzieht, so erhält man das Gewicht der Flüssigkeit, welche bei 0° in die Kugel geht. Sobald man die Kugel erwärmt, dehnt sich die Flüssigkeit aus, sie steigt über die Marke *a* in den Trichter. Wenn man bis zu einer bestimmten Temperatur, etwa bis auf 100°, erwärmt hat, nimmt man alle über *a* stehende Flüssigkeit wieder weg und wiegt dann von Neuem. Nach den beiden Wägungen läßt sich dann leicht die scheinbare Ausdehnung berechnen.

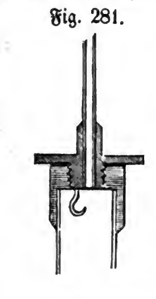
Fig. 279.

117 **Dichtigkeit des destillirten Wassers.** Alle Körper ändern fortwährend, unter dem Einflusse der Wärme, ihr Volumen, sie ändern also auch ihre Dichtigkeit; im Gesetze dieser Veränderungen macht aber das Wasser eine merkwürdige Ausnahme. Wenn man von 0° an seine Temperatur erhöht, zieht es sich zusammen, anstatt sich auszudehnen; es zieht sich mehr und mehr zusammen bis zu einer Temperatur von 4°, und von dieser Temperatur an dehnt es sich dann aus, wenn es noch mehr erwärmt wird. Bei einer Temperatur von 4° hat also das Wasser ein Dichtigkeitsmaximum. Am besten läßt sich dieses Phänomen an einem Wasserthermometer beobachten; um aber die Erscheinung recht deutlich zu machen, muß man ein Thermometer von etwas großen Dimensionen anwenden; ganz besonders möchte in dieser Hinsicht der Fig. 280 auf der folgenden Seite abgebildete Apparat zu empfehlen seyn.

Ein Ballon, welcher ungefähr 1 Liter hält, ist mit einer messingenen Fassung versehen, in welche eine in Messing gefaßte Glasröhre aufgeschraubt werden kann, wie Fig. 281 deutlicher zeigt. Zwischen der obern Fläche der Fassung des Ballons und der Fassung der Röhre ist eine mit

Talg getränkte Lederscheibe eingelegt, so daß man überzeugt seyn kann, daß

Fig. 280. Fig. 281.



bei gehörigem Anziehen der Schraube hier kein Wasser entweicht. Am untern Ende der Schraube ist ein Häkchen angebracht, an welches man ein Thermometer hängen kann. Dieses Thermometer, ganz von dem Wasser des Ballons umgeben, zeigt die Temperatur desselben. Zu genauer Messung der Temperatur kann jedoch dieses Thermometer nicht dienen, weil man es der Lichtbrechung wegen nicht ganz richtig ablesen kann. An der Glasröhre ist ein getheilter Stab angebracht, um darauf die Variationen der Wassersäule im Rohre abzulesen. Zum Nullpunkte der Theilung kann man den untersten Punkt des getheilten Stabes nehmen.

Mit einem Apparate dieser Art wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Temperatur des Wassers.	Stand des Wassers in der Röhre.	Reducirter Wasserstand.
0	48,75^{cm}	48,75^{cm}
1,56	39,25^{cm}	42,79^{cm}
3,5	31,25^{cm}	39,19^{cm}
4	30,3^{cm}	39,38^{cm}
5,25	29,17^{cm}	41,09^{cm}
5,75	29,12^{cm}	42,17^{cm}
8	32,25^{cm}	50,41^{cm}
9	36,25^{cm}	56,68^{cm}
12	56,25^{cm}	82,49^{cm}
16,25	89,25^{cm}	126,14^{cm}

Während also bei einer Temperatur von 0^{0} das Wasser in der Röhre 48$\frac{3}{4}$ Centimeter über dem Nullpunkte stand, sank es bis auf 29,12^{cm}, also um 19,63^{cm}, während die Temperatur um 5,75^{0} stieg; bei noch mehr wachsender Temperatur stieg aber das Wasser in der Röhre wieder. Diese Beobachtungsreihe, welche Figur 282 durch die Linie *ab* graphisch dargestellt ist, scheint auf den ersten Anblick anzudeuten, daß das Dichtig-

keitsmaximum des Wassers bei einer Temperatur von $5^1/_4{}^0$ stattfindet; aus dieser Beobachtungsreihe aber folgt ein ganz anderes Resultat, wenn man die Ausdehnung des Glasgefäßes mit in Rechnung bringt.

Wenn von 0^0 an die Temperatur steigt, zieht sich das Wasser zusammen, das Volumen des Glasgefäßes aber vergrößert sich; das beobachtete Sinken der Wassersäule ist also gleichsam die Summe zweier Wirkungen, der Contraction des Wassers und der Ausdehnung des Glases; um genau die Lage des Dichtigkeitsmaximums und die Größen-Veränderungen in der Dichtigkeit des Wassers zu ermitteln, muß man genau die Capacität des Gefäßes und der Röhre ausmitteln.

Der Inhalt des Ballons betrug bei jenem Apparat 1016 Kubikcentimeter, ein Röhrenstück von 10 Centimeter Länge hatte aber eine Capacität von 0,118 Kubikcent. Berechnet man die kubische Ausdehnung des Glasgefäßes für 1^0 C., so findet man, daß es sich für eine solche Temperaturerhöhung um 0,02682 Kubikcent. ausdehnt; wenn also das Wasser unter dem Einflusse der Wärme sich weder ausdehnte, noch zusammenzöge, so würde doch, so oft die Temperatur um 1^0 steigt, in Folge der Glasausdehnung das Wasser in der Röhre um 2,27 Centimeter sinken, da, wie man leicht berechnen kann, ein Röhrenstück von 2,27 Centimeter Länge einen kubischen Inhalt von 0,0268 Kubikcentimetern hat.

Nun ist es leicht, den Einfluß der Glasausdehnung auf den Gang der Erscheinung nachzuweisen; wenn keine Glasausdehnung stattfände und der Ballon stets dieselbe Capacität hätte wie bei 0^0, so würde bei 1^0 das Wasser um $2{,}27^{cm}$, bei 2^0 und 2 . 2,27, bei 3^0 um 3 . 2,27 u. s. w. höher stehen, als man beobachtet hat. Berechnet man auf diese Weise für jede der in obiger Tabelle enthaltenen Temperaturen den Wasserstand, wie er seyn würde, wenn die Glasausdehnung nicht influirte, so erhält man die Zahlen der dritten Columne, welche den Gang der Zusammenziehung und der Ausdehnung des Wassers darstellen. Nach diesen Zahlen ist die wahre Ausdehnungscurve ac, Fig. 282, des Wassers construirt. Man sieht, daß das Dichtigkeitsmaximum wirklich in der Nähe von 4^0 liegt.

Fig. 282.

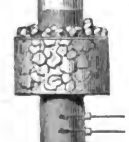
Wenn man beabsichtigt, mit diesem Apparate genaue Messungen zu machen, so muß man ihn in einem Zimmer aufstellen, in welchem kein sehr rascher Temperaturwechsel stattfinden kann, denn nur in diesem Falle kann die Temperatur der ziemlich bedeutenden Wassermasse der Temperatur der Umgebung folgen. Man beobachtet dann von Zeit zu Zeit die correspondi-

renden Temperaturen und Wasserstände in der Röhre. Begreiflicherweise erfordert eine vollständige Beobachtungsreihe der Art eine Zeit von wenigstens einigen Monaten. Bei der Beobachtungsreihe, deren Resultate in der Tabelle auf Seite 287 angeführt sind, wurden nicht alle Vorsichtsmaßregeln angewandt, um ein ganz genaues Resultat zu sichern; doch sind diese Resultate der Wahrheit gewiß sehr nahe und dienen sehr gut, um den Gang des Phänomens zu übersehen.

Diese merkwürdige Eigenschaft des Wassers wurde schon im 17ten Jahrhundert von den Mitgliedern der Academia del Cimento beobachtet. Sie veranlaßt die Erscheinung, daß, wenn man mitten in ein etwa 8 Zoll hohes und 3 Zoll weites, mit warmem Wasser gefülltes Gefäß zwei Thermometer so einsenkt, daß die Kugel des einen etwa 2 Zoll unter dem Wasserspiegel, die des andern aber 2 Zoll über dem Boden sich befindet, dann das Gefäß in einem 1° bis 2° warmen Zimmer langsam erkalten läßt, daß alsdann anfangs das untere Thermometer tiefer steht, daß ohngefähr bei 4° beide Thermometer gleich stehen, daß aber bei fernerm Erkalten das untere Thermometer eine höhere Temperatur zeigt. Anfangs ist nämlich das an den Wänden des Gefäßes abgekühlte Wasser schwerer als das etwas wärmere Wasser in der Mitte, es entsteht also ein Strom, das warme Wasser steigt in der Mitte, das kältere sinkt auf den Seiten. Dieser Strom kehrt seine Richtung um, sobald die Erkaltung unter 4° fortgeschritten ist. Bei der Temperatur des Dichtigkeitsmaximums findet gar kein Strom Statt, und beide Thermometer zeigen gleiche Temperatur. Tralles, Hope und Hallström haben die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums gerade dadurch bestimmt, daß sie beobachteten, bei welcher Temperatur jene beiden Thermometer gleichstehen.

Man kann zu diesem Versuche auch den Fig. 283 abgebildeten Apparat anwenden, bei welchem die Erkaltung durch Eisstücke hergebracht wird, die sich in einer Hülle befinden, welche den obern Theil des mit Wasser gefüllten Gefäßes umgiebt.

Fig. 283.



Die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums ist 4°, als Mittel aus den besten Beobachtungen, welche zwischen 3,790° und 4,108° schwanken. Diese Differenzen zwischen den Beobachtungen sind leicht erklärlich, wenn man bedenkt, wie außerordentlich wenig sich die Dichtigkeit des Wassers in der Nähe dieses Punktes ändert.

Die Dichtigkeit des Wassers für verschiedene Temperaturen zwischen 0° und 30° bestimmte Hallström mit Hülfe der hydrostatischen Wage. Nach seinen Beobachtungen beträgt die Contraction des Wassers von 0° bis zur Temperatur der größten Dichtigkeit 0,00010824 seines Volumens. Despretz suchte die Dichtigkeit des Wassers zwischen 4° und 100° durch die Beobachtung

thermometerartiger Apparate zu bestimmen. Seine Angaben möchten wohl die genauesten unter allen seyn. Er machte 19 Beobachtungen zwischen 4° und 100° und entwarf danach mittelst graphischer Interpolation die folgende Tabelle.

Wahre Volumina des Wassers nach Despretz.

Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.
4°C.	1,0000000	29°C	1,00403	53°C	1,01345	77°C	1,02694
5	1,0000082	30	1,00433	54	1,01395	78	1,02761
6	1,0000309	31	1,00463	55	1,01445	79	1,02823
7	1,0000708	32	1,00494	56	1,01495	80	1,02885
8	1,0001216	33	1,00525	57	1,01547	81	1,02954
9	1,0001879	34	1,00555	58	1,01597	82	1,03022
10	1,0002684	35	1,00593	59	1,01647	83	1,03090
11	1,0003598	36	1,00624	60	1,01698	84	1,03156
12	1,0004723	37	1,00661	61	1,01752	85	1,03225
13	1,0005862	38	1,00699	62	1,01809	86	1,03293
14	1,0007146	39	1,00734	63	1,01862	87	1,03361
15	1,0008751	40	1,00773	64	1,01913	88	1,03430
16	1,0010215	41	1,00812	65	1,01967	89	1,03500
17	1,0012067	42	1,00853	66	1,02025	90	1,03566
18	1,00139	43	1,00894	67	1,02085	91	1,03639
19	1,00158	44	1,00938	68	1,02144	92	1,03710
20	1,00179	45	1,00985	69	1,02200	93	1,03782
21	1,00200	46	1,01020	70	1,02255	94	1,03852
22	1,00222	47	1,01067	71	1,02315	95	1,03925
23	1,00244	48	1,01109	72	1,02375	96	1,03999
24	1,00271	49	1,01157	73	1,02440	97	1,04077
25	1,00293	50	1,01205	74	1,02509	98	1,04153
26	1,00321	51	1,01248	75	1,02562	99	1,04228
27	1,00345	52	1,01297	76	1,02631	100	1,04315
28	1,00374						

Wenn man die Dichtigkeit des Wassers bei 4° gleich 1 setzt, so erhält man nach dieser Tabelle die Dichtigkeit des Wassers für jede andre Temperatur, wenn man das dieser Temperatur entsprechende Volumen in 1 dividirt.

Das Phänomen des Dichtigkeitsmaximums scheint, als eine zufällige Ausnahme der allgemeinen Ausdehnungsgesetze, nicht von besonderer Wichtigkeit zu seyn, wir werden jedoch weiter unten sehen, welch eine wichtige Rolle es in dem Haushalte der Natur spielt. Nur in Folge dieser Ei-

genschaft können in höheren Breiten Flüsse und Seen in einer gewissen Tiefe stets flüssig bleiben, nur dadurch ist es möglich, daß die lebenden Geschöpfe, welche die Gewässer bevölkern, in allen Jahreszeiten aushalten können.

Die Figur 284 dient dazu, den Gang der Ausdehnung von Quecksilber, Wasser und Weingeist anschaulich zu machen und unter einander zu vergleichen. Die unterste Curve stellt das Ausdehnungsgesetz des Quecksilbers dar, sie ist eine gerade Linie, weil diese Flüssigkeit sich zwischen 0° und 100° gleichförmig ausdehnt. Das Wasser dehnt sich zwischen diesen Temperaturgrenzen stärker aus, und zwar um 0,045 seines Volumens bei 0°, allein die Ausdehnung ist unregelmäßig. Die mittlere Curve stellt das Ausdehnungsgesetz des Wassers dar, sie zeigt anfangs eine Contraction, bei 8° ist die Dichtigkeit des Wassers wieder so groß wie bei 0°, bei wachsender Temperatur dehnt sich aber das Wasser in einem immer wachsenden Verhältnisse aus, wie man aus der Curve leicht ersieht. Die oberste Curve stellt die Ausdehnung des Weingeistes dar; diese Curve bildet anfangs eine gerade Linie, denn der Weingeist dehnt sich bis 50° gleichförmig aus, von da an aber in wachsendem Verhältnisse. Aus der Vergleichung der Ordinaten ersieht man, um den wievielten Theil des Volumens bei 0° sich jene Flüssigkeiten bei einer bestimmten Temperaturerhebung ausdehnen.

Fig. 284.

Bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 40° C. dehnt sich Schwefeläther um 0,0639 seines Volumens bei 0°, Steinöl um 0,106 bei einer Erwärmung von 0 bis 95°.

118 **Ausdehnung gasförmiger Körper.** Da die Wärme ein Agens ist, welches die Körper ausdehnt, also die Theilchen weiter von einander entfernt, so wirkt sie offenbar der Cohäsionskraft entgegen. Nun aber ist die Cohäsionskraft bei festen Körpern am stärksten, die ausdehnende Kraft der Wärme wird also bei festen Körpern den größten Widerstand zu überwinden haben; die festen Körper können also diesem Raisonnement zufolge durch die Wärme nicht so stark ausgedehnt werden als flüssige und gasförmige. Die Erfahrung bestätigt dies vollkommen. Wir können aber weiter schließen, daß, da die Cohäsionskraft, welche die Theilchen verschiedener fester Körper zusammenhält, nicht gleich ist, verschiedene feste Körper sich ungleich ausdehnen werden. Bei hohen Temperaturen sind die Theilchen der festen Körper schon weiter von einander entfernt als bei niedrigen, bei hohen

Temperaturen setzt also die Cohäsionskraft einer fernern Ausdehnung auch einen geringern Widerstand entgegen; bei hohen Temperaturen wird also der Ausdehnungscoëfficient eines und desselben festen Körpers größer seyn müssen als bei niedrigen. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt. Ueberträgt man diese Schlüsse auf Flüssigkeiten, so folgt, daß verschiedene Flüssigkeiten verschiedene Ausdehnungscoëfficienten haben werden, und daß dieselbe Flüssigkeit sich bei höheren Temperaturen verhältnißmäßig mehr ausdehnen werde als bei niedrigen, was auch, wie wir beim Quecksilber, Weingeist und Wasser gesehen haben, der Fall ist.

Bei gasförmigen Körpern ist die Wirkung der Cohäsionskraft auf die einzelnen Theilchen gleich Null, die Cohäsionskraft setzt also der ausdehnenden Kraft der Wärme kein Hinderniß mehr entgegen. Daraus ergeben sich mehrere wichtige Folgerungen. Erstens müssen gasförmige Körper durch die Wärme bei weitem stärker ausgedehnt werden als feste und flüssige, was schon durch die oberflächlichsten Versuche bestätigt wird; zweitens muß aber auch die Ausdehnung durch die Wärme nicht nur für alle Gasarten, sondern auch für alle Temperaturen dieselbe seyn, d. h. der Ausdehnungscoëfficient ist derselbe für alle gasförmigen Körper, und alle Gase dehnen sich stets der Zunahme der Temperatur proportional aus.

Die Versuche bestätigen in der That, daß sich alle Gasarten in gleichem Verhältnisse ausdehnen; daß aber die Ausdehnung der Gase der Temperaturzunahme proportional ist, läßt sich durch Versuche nicht nachweisen, weil wir ja kein directes Mittel haben, die Temperatur zu messen, und weil wir ja gerade die Ausdehnung selbst zur Temperaturbestimmung benutzen.

Obgleich uns aber hier der directe Beweis durch den Versuch fehlt, so dürfen wir dennoch die gleichmäßige Ausdehnung der Luft um so mehr als wahr ansehen, als alle übrigen Folgerungen des Raisonnements, welche uns endlich zu diesem Schlusse führten, durch alle Versuche vollständig bewahrheitet sind.

Man hatte sich lange vergeblich bemüht, den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu bestimmen; man erhielt stets stark unter sich abweichende Resultate, was darin lag, daß man die angewandte Luft nicht gehörig von Wasserdämpfen befreit hatte, welche, wie wir bald sehen werden, die Resultate wesentlich modificiren. Gay-Lussac war der erste, welcher constante Resultate erhielt. Nach seinen Bestimmungen ist der Ausdehnungscoëfficient der Luft 0,375, d. h. wenn man Luft von 0° bis auf 100° erwärmt, so dehnt sie sich um 0,375 oder $^3/_8$ ihres Volumens aus, vorausgesetzt, daß der Druck, unter welchem diese Luftmasse steht, sich nicht ändert.

Gay-Lussac bediente sich zu seinen Versuchen einer Glasröhre, welche

ohngefähr 30 bis 40cm lang 1 bis 1,5mm Durchmesser hatte, und an deren einem Ende eine Kugel von etwa 0,8 bis 1cm Durchmesser angeblasen war. Die Röhre war graduirt und das Verhältniß des Kugelinhalts zum Volumen der durch die Theilstriche auf der Röhre gemachten Abtheilungen derselben genau bestimmt. Man gelangt dazu, indem man erst die Kugel und einen Theil der Röhre mit Quecksilber füllt und das Gewicht des Quecksilbers bestimmt, dann von Neuem Quecksilber zufüllt und abermals wiegt. Aus dem Verhältnisse der gefundenen Gewichte läßt sich dann auf das Verhältniß der Volumina schließen.

Nachdem auf diese Weise der Rauminhalt der Kugel und der Röhre gehörig verglichen sind, muß die Kugel mit **trockner Luft** gefüllt und dafür gesorgt werden, daß alle Feuchtigkeit, welche etwa noch an den Glaswänden anhängt, vollständig entfernt werde. Dies wird dadurch erreicht, daß man Quecksilber in der Röhre sieden läßt, gerade so, wie man beim Füllen eines gewöhnlichen Thermometers verfährt. Ist so die Feuchtigkeit entfernt und die Kugel sammt der Röhre mit Quecksilber angefüllt, so befestigt man am offenen Ende der Röhre ein weiteres Glasrohr, welches mit Stücken von Chlorcalcium gefüllt ist. Bringt man nun die Röhre in die vertikale Stellung, wie es Fig. 285 zeigt, so fließt das Quecksilber aus, und Luft tritt statt dessen in die Röhre und die Kugel ein, welche vollkommen trocken ist, weil sie durch die Chlorcalciumstücke hat hindurchstreichen müssen.

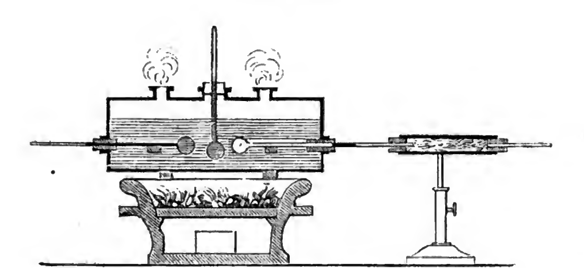
Fig. 285.

Um das Ausfließen des Quecksilbers aus dem etwas engen Rohre zu bewerkstelligen, steckt man durch die Chlorcalciumröhre hindurch in die Röhre des Luftthermometers einen Eisendraht, den man nur etwas auf- und niederzuschieben nöthig hat, um das Quecksilber herauszubringen. Wenn man so alles Quecksilber bis auf eine geringe Menge aus der Röhre entfernt hat, zieht man den Draht zurück. Die kleine Quecksilbersäule, welche noch zurückbleibt, dient als Index. Es besteht auf diese Weise keine Verbindung zwischen der Luft, welche in der Kugel abgesperrt ist, und der äußern Luft, und die Röhre kann also ganz offen bleiben. Bringt man nun dieses Instrument in eine horizontale Lage, so hat man ein **Luftthermometer**.

Man beobachtet den Theilstrich der Röhre, bei welchem sich der Index feststellt, wenn der Apparat in gestoßenes schmelzendes Eis gebracht wird. Da man weiß, wie vielmal das Volumen einer Röhrenabtheilung in dem Volumen der Kugel enthalten ist, so ist durch diese Beobachtung das Volumen ausgemittelt, welches die abgesperrte trockne Luft bei 0° einnimmt. Nun bringt man das Instrument in einen Kasten, Fig. 286, der mit Wasser gefüllt ist, welches man bis zu einer beliebigen Temperatur t er-

wärmen kann, und zwar so, daß die Röhre noch aus der Wand des Kastens hervorragt. Die Röhre wird gerade bis zum Index in den Kasten

Fig. 286.



hineingeschoben, damit alle abgesperrte Luft die Temperatur des Bades annehme. Bei dieser Erwärmung dehnt sich die abgesperrte Luft aus, der Index wird weiter von der Kugel fortgetrieben, und man beobachtet, wo er sich bei irgend einer fixen Temperatur feststellt. Dadurch ist das vergrößerte Volumen bekannt.

Sollte sich während des Versuchs der Barometerstand geändert haben, so ist diese Veränderung mit in Rechnung zu bringen.

Die kubische Ausdehnung des Glasgefäßes ist auch noch in Rechnung zu bringen. Die Correction, welche dadurch veranlaßt wird, ist jedoch im Vergleich zu der Ausdehnung der Luft höchst unbedeutend. Wenn man den Ausdehnungscoëfficienten der Luft für eine Temperaturerhöhung von 100° ohne Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases ermittelt, so hat man zu demselben, um diese Vernachlässigung zu corrigiren, noch 0,002 zu addiren.

Mit Berücksichtigung aller Correctionen fand Gay-Lussac für den Ausdehnungscoëfficienten der trocknen Luft sowohl als aller trocknen Gasarten den schon angeführten Werth 0,375. Bei einer Untersuchung, welche Rudberg über die Schmelzpunkte von Zinn, Kadmium und Blei ausführte, drängte sich ihm Zweifel über die Richtigkeit dieser für die Wissenschaft so wichtigen Constanten auf. Er suchte dieselbe nach einer andern Methode zu bestimmen und fand statt 0,375 die Zahl 0,365.

Rudberg wandte zu seinen Versuchen eine nicht gar lange, mit einer Kugel versehene Thermometerröhre an, welche auf der andern Seite in eine feine Spitze ausgezogen war. Der Durchmesser der Kugel beträgt etwa 2,5 Centimeter. Sie wird dadurch mit trockner Luft gefüllt, daß man die Spitze der Röhre mittelst eines Korkes in eine Chlorcalciumröhre steckt und sie alsdann durch die Spirituslampe erwärmt. Dadurch wird ein Theil

der in der Kugel enthaltenen Luft ausgetrieben, und diejenige Luftmenge, welche dafür beim Erkalten der Kugel wieder eintritt, ist vollkommen trocken, weil sie ja erst zwischen den Chlorcalciumstücken hindurchstreichen mußte. Diese Operation wiederholte Rudberg etwa 50mal, um auch die letzte Spur von Feuchtigkeit aus der Kugel zu entfernen. Statt dieser Austrocknungsmethode wandte er auch folgende an: Der Apparat mit dem Chlorcalciumrohre wurde mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, ausgepumpt und dann wieder in die Kugel eingelassen, welche vorher auch durch das Chlorcalcium streichen mußte. Auch diese Operation wurde gegen 50mal wiederholt. Die Resultate fielen ganz gleich aus, es mochte nun die eine oder die andere Austrocknungsmethode angewandt worden seyn.

Nachdem die Luft in der Kugel vollständig getrocknet war, wurde sie in einen Siedeapparat gebracht, d. h. in ein Gefäß von der Art, wie das Seite 267 beschriebene, welches man anwandte, um den Siedepunkt des Thermometers zu bestimmen. Nur die Spitze der Röhre ragt oben aus dem Apparate hervor, so daß die ganze Kugel und fast die ganze Röhre von den aus dem siedenden Wasser aufsteigenden Dämpfen umgeben war. Nachdem man das Sieden des Wassers fast eine Stunde lang unterhalten hatte, konnte man sicher seyn, daß die Luft in der Kugel und in der Röhre wirklich die Temperatur des siedenden Wassers angenommen hatte, und nun wurde die Spitze der Röhre zugeschmolzen.

Nachdem die Kugel erkaltet war, wurde sie auf ein durch einen besondern Träger gehaltenes Metallschälchen gebracht. Dieses Schälchen hatte ungefähr die Größe und Gestalt eines Uhrglases; es hat in der Mitte eine Oeffnung, durch welche die Röhre hindurchgesteckt wird, so daß die zugeschmolzene Spitze nach Unten gerichtet ist und die Kugel auf dem Schälchen ruht. Läßt man die Spitze in ein Gefäß mit Quecksilber eintauchen, so wird, wenn man sie abbricht, das Quecksilber durch die Röhre in die Kugel eindringen und einen Theil derselben ausfüllen, weil die Luftmenge, welche bei der Siedetemperatur die Kugel ganz ausfüllte, jetzt einen kleinern Raum einnimmt. Die noch in der Kugel enthaltene Luft muß aber auf 0° erkaltet werden, und dies geschieht dadurch, daß man schmelzenden Schnee auf das Schälchen bringt. In dem Maaße, als der Schnee wegschmilzt, muß neuer nachgebracht werden. War die Kugel lange genug mit dem schmelzenden Schnee in Berührung, so daß man überzeugt seyn kann, sie habe wirklich die Temperatur von 0° angenommen, so wird, um das Ausfließen des Quecksilbers aus der Kugel zu verhindern, die Spitze noch unter dem Quecksilber mit etwas Wachs verstopft, die Kugel auf die Wage gebracht und das Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers bestimmt (es versteht sich, daß man schon vorher das Gewicht der leeren Kugel be-

stimmt hatte). — Wir wollen annehmen, man habe das Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers gleich 41,722 Gramm gefunden. —

Dieses Quecksilber nimmt den Raum ein, um welchen sich die Luft, welche bei der Siedehitze die Kugel ausfüllte, beim Erkalten bis auf 0° zusammenzog. Die Röhre wurde nun am Ende so umgebogen, daß sie in ein Töpfchen mit Quecksilber gebracht werden konnte, durch sorgfältiges Auskochen der Kugel alle Luft aus derselben entfernt, so daß sie sich beim Erkalten ganz mit Quecksilber füllen mußte. Nach dem Erkalten wurde sie noch mit Schnee umgeben, so daß sie sich mit Quecksilber von 0° füllen mußte. Durch eine abermalige Wägung wird das Gewicht des Quecksilbers bestimmt, welches bei 0° die ganze Kugel anfüllt. — Es betrage 173,443 Gramm.

Da nach dem Abbrechen der Spitze 41,722 Gramme Quecksilber eingedrungen waren, während die ganze Kugel 173,443 Gramme Quecksilber hält, so ist klar, daß die noch in der Kugel zurückgebliebene Luft, welche sie bei 100° ganz ausfüllt, jetzt bei 0° einen Raum einnimmt, welcher so groß ist, daß ein gleiches Volumen Quecksilber 173,443 — 41,722, also 131,721 Gramme wiegt. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt sich also die Luft im Verhältniß von 131,721 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,34 . . . aus.

Diese Zahl ist offenbar zu klein, und dies rührt daher, daß die nöthigen Correctionen wegen des veränderten Luftdrucks noch anzubringen sind.

In dem Moment, in welchem man die Spitze der Röhre mit Wachs verklebte, war der Barometerstand 77,58 Centimeter, das Quecksilberniveau in der Kugel stand aber $3{,}81^{cm}$ über dem Quecksilber im Gefäße, der Druck also, welchen die im obern Theile der Kugel abgesperrte Luft wirklich auszuhalten hat, ist gleich $77{,}58 - 3{,}81 = 73{,}77^{cm}$. Im Augenblick, wo man die Spitze zuschmolz, war der Barometerstand $76{,}36^{cm}$. Wenn nun die Luft nach ihrem Erkalten auf 0° demselben Drucke ausgesetzt wäre, so würde sie einen kleinern Raum einnehmen, als der ist, den sie wirklich einnimmt, und zwar müßte sie sich noch im Verhältniß von 76,36 zu 73,77 zusammenziehen. Ein gleiches Volumen Quecksilber würde also nicht 131,721, sondern $131{,}721 \frac{7377}{7636} = 127{,}25$ Gramm wiegen. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt sich also die Luft, wenn sich der Druck nicht ändert, im Verhältniß von 127,25 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,363 aus, der Ausdehnungscoëfficient der Luft wäre demnach 0,363.

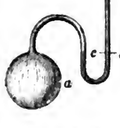
Wir haben jedoch hier nur die scheinbare Ausdehnung der Luft bestimmt, indem die Ausdehnung des Glases unberücksichtigt blieb. Um den

wahren Ausdehnungscoëfficienten zu finden, müssen wir zu dem eben gefundenen noch den Coëfficienten der kubischen Ausdehnung des Glases hinzuaddiren, welcher, wie wir gesehen haben, 0,0025 ist. Der wahre Ausdehnungscoëfficient der Luft ist demnach 0,3655.

Die bei dieser Berechnung zu Grunde gelegten Data sind den von Rudberg selbst angestellten Beobachtungen entnommen, und zwar sind es diejenigen, welche den größten Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft geben. Der kleinste Werth, den er auf diese Weise gefunden hat, ist 0,3636 und das Mittel aus seinen Versuchen 0,3646.

Die Wichtigkeit des Gegenstandes veranlaßte Rudberg, später noch eine Reihe von Versuchen anzustellen, um den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu bestimmen, welche auf einem ganz andern Principe beruhen, nämlich darauf, daß, wenn man die Luft an der Ausdehnung hindert, während man sie erwärmt, der Druck in demselben Verhältnisse zunimmt, in welchem sich außerdem das Volumen vermehrt hätte.

Fig. 287.



Die Kugel a, Fig. 287, sey mit trockner Luft gefüllt und dieselbe durch das Quecksilber in der gebogenen Röhre abgesperrt. Wenn man die Kugel a in schmelzenden Schnee gebracht und dadurch die Luft in derselben auf 0° erkaltet hat, so kann man leicht so viel Quecksilber noch bei b in die Röhre eingießen, daß es in dem kürzern Schenkel bis zur Höhe c reicht. Auf dem Brette, auf welchem die Glasröhre befestigt ist, sey durch c eine horizontale Linie gezogen, und diese sey der Nullpunkt einer Theilung, welche sich hinter dem längeren Schenkel befindet. Wenn nun die Kugel auf 0° erkaltet ist und das Quecksilber bei c steht, so beobachtet man den Barometerstand b und die Anzahl der Millimeter h, um welche das Quecksilber in dem längern Schenkel über dem Nullpunkte der Scala steht. Der Druck, den die Luft in der Kugel auszuhalten hat, ist dadurch bestimmt, er ist $b + h$.

Nun entfernt man den Schnee und erwärmt die Kugel nach und nach; die Luft dehnt sich aus, das Quecksilber sinkt von c herab und steigt in den andern Schenkel; um die Luft wieder auf ihr voriges Volumen zu comprimiren, muß man von Neuem Quecksilber bei b eingießen. Gesetzt, man habe die Kugel bis 100° erwärmt und bei b nach und nach so viel Quecksilber eingegossen, daß es in dem kürzern Schenkel wieder bei c steht; man beobachtet wieder das Barometer, seine Höhe sey b' und die Höhe der Quecksilbersäule, welche im langen Schenkel über dem Nullpunkte der Scala steht, sey h', so ist nun der Druck, welchen die abgesperrte Luft auszuhalten hat, $b' + h'$.

Bei unverändertem Volumen übt also ein gewisses Luftquantum bei 0^0 einen Druck $b + h$ aus, bei 100^0 aber einen Druck $b' + h'$. Bei unverändertem Drucke würde sich demnach die Luft im Verhältniß von $b + h$ zu $b' + h'$ ausgedehnt haben.

Es sey z. B. $b = 758^{mm}$, $h = 7^{mm}$, $b' = 757^{mm}$, $h' = 284^{mm}$, so ist der Druck, welchen die Luft bei 0^0 aushält, 765^{mm}, während sie bei unverändertem Volumen bei 100^0 einen Druck von 1042^{mm} aushält; bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 dehnt sich demnach die Luft im Verhältniß von 765 zu 1042, oder von 1 zu 1,362. Der Ausdehnungscoëfficient wäre demnach, wenn man noch die Ausdehnung des Glases berücksichtigt, $0{,}362 + 0{,}0025 = 0{,}3645$.

Der eben beschriebene Apparat ist in der That mehr für einen Vorlesungsversuch geeignet, als genaue Resultate zu geben. Zu diesem Zwecke muß er etwas abgeändert werden. Eine detaillirte Beschreibung seines Apparates würde uns aber zu weit führen. Nach dieser Methode fand Rudberg als Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Versuchen 0,36457.

Magnus und Regnault haben gleichfalls den Ausdehnungscoëfficienten der Luft durch eine Reihe sehr genauer Versuche bestimmt. Beide haben ganz unabhängig gearbeitet, keiner wußte, daß der andere gleichzeitig mit derselben Untersuchung beschäftigt sey. Nach der ersten der beiden Rudberg'schen Methoden erhielt Magnus keine constanten Resultate, nach der zweiten aber war der größte Werth, den er für den Coëfficienten fand, 0,367899, der kleinste 0,365032, das Mittel aus allen 0,366508. — Regnault wandte vier verschiedene Methoden an, die beiden Rudberg'schen und zwei andere auf gleichen Principien beruhende. Nach jeder Methode machte er eine große Menge von Versuchen, die ein fast gleiches Resultat gaben. Nach der einen Methode fand er als Mittel 0,36629, nach der zweiten 0,36633, nach der dritten 0,36678, nach der vierten 0,36665. Das Mittel aus diesen vier Werthen ist 0,3665. Die Endresultate von Magnus und Regnault stimmen vollkommen überein, und somit kann wohl kaum mehr ein Zweifel bleiben, daß 0,3665 der wahre Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft ist.

Nimmt man den Werth 0,36666..., welcher von dem eben angegebenen Mittel nur um 0,000166 differirt, für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft, so kann man ihn durch den sehr einfachen Bruch $^{11}/_{30}$ ausdrücken, welcher in vielen Rechnungen sehr bequem anzuwenden ist.

Regnault hat die Versuche über die Ausdehnung der Luft durch die Wärme auch bei einem Luftdrucke angestellt, welcher größer und kleiner war als der Druck der Atmosphäre, und fand, daß der Ausdehnungs-

coëfficient mit wachsendem Drucke größer wird; er wächst von 0,3648 bis 0,3709, wenn der Druck von 110^{mm} bis 3655^{mm} steigt.

Ebenso fanden Magnus und Regnault durch die genauesten Versuche, daß auch für verschiedene Gase der Ausdehnungscoëfficient nicht ganz gleich ist; es fanden

	Regnault.	Magnus.
Wasserstoffgas . .	0,36613 . .	0,36566
Kohlenoxydgas . .	0,36688	
Kohlensäure . . .	0,37099 . .	0,36909
Stickstoffoxydulgas .	0,37195	
Cyangas	0,38767	
Schweflige Säure .	0,39028 . .	0,38562.

Die Versuche beider Physiker thun dar, daß der Ausdehnungscoëfficient derjenigen Gase, welche zu Flüssigkeiten comprimirbar sind, größer ist als der der Luft, und zwar um so größer, je leichter sie flüssig werden.

Somit weisen diese Versuche nach, daß die früher als allgemein wahr angenommenen Sätze, daß der Ausdehnungscoëfficient für alle Gase und unter jedem Drucke gleich sey, nicht ganz streng wahr ist. Deshalb aber müssen diese Gesetze, wie Regnault sehr richtig bemerkt, nicht aus der Wissenschaft verbannt werden; sie gelten für einen vollkommenen Gaszustand, dem sich die Gase, welche uns die Natur liefert, bald mehr, bald weniger nähern, je nachdem sie bei der Temperatur und dem Drucke, welchem sie ausgesetzt sind, dem Punkte des Uebergangs in einen anderen Aggregatzustand näher oder ferner liegen.

Ist einmal der Ausdehnungscoëfficient der Luft bekannt, so kann man die Ausdehnung der Luft selbst benutzen, um Temperaturen zu bestimmen. Ein Luftthermometer läßt sich nicht füglich wie ein gewöhnliches Quecksilberthermometer einrichten, so daß man die Temperatur unmittelbar ablesen kann. Es ist dies schon deshalb nicht möglich, weil der Stand eines graduirten Luftthermometers (eines solchen etwa, wie es Gay-Lussac zur Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten anwandte) sich schon ändert, sobald nur der Barometerstand variirt, wenn auch die Temperatur dieselbe geblieben ist. Die Bestimmung einer Temperatur mit Hülfe eines Luftthermometers erfordert jederzeit einen besondern Versuch. In der Regel wendet man ein Verfahren an, welches im Wesentlichen mit der ersten der beiden Methoden übereinstimmt, die Rudberg zur Ermittelung des Ausdehnungscoëfficienten anwandte, d. h. man wendet ein mit einer feinen Spitze versehenes und mit trockner Luft gefülltes Reservoir an, welches man an den Ort bringt, dessen Temperatur gemessen werden soll.

Man bestimmt die Quecksilbermenge, welche beim Erkalten durch die feine Spitze in das Gefäß eindringt, alsdann diejenige, welche das ganze Volumen des Gefäßes ausfüllt. Aus dem Verhältnisse dieser beiden Quecksilbermengen ergiebt sich der Temperaturunterschied. Hier ist die Temperaturdifferenz gesucht und der Ausdehnungscoëfficient bekannt, während Rudberg bei seinen Versuchen umgekehrt diesen Coëfficienten suchte, aber die Temperaturdifferenz kannte.

Wenn man dieselbe Temperatur gleichzeitig mit dem Quecksilberthermometer und dem Luftthermometer mißt, so erhält man zwischen 0^0 und 100^0 vollkommen gleiche Angaben; über 100^0 hinaus aber giebt das Quecksilberthermometer stets höhere Temperaturen an. Es folgt daraus, daß sich das Quecksilber von 0^0 bis 100^0 gleichförmig, von 100^0 an aber in einem stärkern Verhältnisse ausdehnt.

Nach den Versuchen von Dulong und Petit sind folgende mit dem Luft- und dem Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturen identisch:

Luftthermometer 100, 149, 197, 245, 293, 350
Quecksilberthermometer . 100, 150, 200, 250, 300, 360.

Nach Rudberg sind folgende die entsprechenden Temperaturen beider Thermometer:

Luftthermometer 100, 198,8 294,7
Quecksilberthermometer . . 100, 200, 300.

Nach Magnus:

Luftthermometer 100, 197,5 294,5
Quecksilberthermometer . . 100, 200, 300.

Nach den oben (Seite 285) angeführten Versuchen von Regnault gelten die für ein Quecksilberthermometer erhaltenen Resultate nicht für jedes andere, weil sie aufhören bei höheren Temperaturen vergleichbar zu seyn, wenn sie aus verschiedenen Glassorten gemacht sind. Bei genauen Versuchen sollte man deshalb die Bestimmung höherer Temperaturen stets mit dem Luftthermometer machen, da bei dessen Angaben, wegen der Größe der Ausdehnung der Luft, die Fehler verschwinden, welche durch die Unregelmäßigkeiten und die Ausdehnung der Glashülle veranlaßt werden.

119 Bei dem, was oben über das specifische Gewicht der Körper gesagt wurde, war der Einfluß der Wärme ganz außer Acht gelassen worden. Bei festen und flüssigen Körpern ist auch in der That die Ausdehnung innerhalb der Temperaturgränzen, zwischen welchen man die zur Bestimmung der Dichtigkeit nöthigen Operationen vornimmt, so gering, daß man, wo nicht größere Genauigkeit nöthig ist, den Wärmeeinfluß ganz vernachlässigen kann.

Auf die Dichtigkeit der Gase aber hat die Wärme einen so bedeutenden Einfluß, daß man ohne ihre Berücksichtigung nicht einmal angenähert

richtige Resultate erhält. Aus diesem Grunde kann erst hier von der Bestimmung der Dichtigkeit der Gase die Rede seyn.

Dichtigkeit der Luft. Um die Dichtigkeit der Luft zu bestimmen, 120 wendet man einen Ballon von 8 bis 10 Liter Inhalt an, welcher mit einer Fassung versehen ist, die man auf eine Luftpumpe schrauben und in welcher sich ein Hahn befindet, den man schließen kann, wenn man evacuirt hat (Fig. 288). Die Capacität eines solchen Ballons findet man am besten dadurch, daß man genau das Gewicht des Wassers ausmittelt, welches er faßt. Gesetzt, ein solcher Ballon, dessen Inhalt gerade 10 Liter beträgt, wiege, mit trockner Luft gefüllt, 12,99 Gramm mehr, als wenn er luftleer gemacht ist, so würde daraus folgen, daß das specifische Gewicht der Luft 0,001299 ist, denn 10 Liter Wasser wiegen ja 10 Kilogr., oder, was dasselbe ist, 10000 Gramm.

Fig. 288.

Ein solches Resultat würde der Versuch jedoch nur dann geben, wenn er bei einer Temperatur von 0^0 und bei einem Barometerstande von 760^{mm} angestellt worden wäre, und wenn man den Ballon wirklich absolut luftleer gemacht hätte. Wenn aber diese Bedingungen nicht erfüllt sind, so läßt sich dies Resultat aus den Beobachtungen ableiten.

Nehmen wir an, ein Ballon von 10 Liter Inhalt wiege bei einer Temperatur von 18^0 C. und bei einem Barometerstande von 754^{mm} 12,01 Gr. mehr, als wenn er so weit leer gepumpt ist, daß die Barometerprobe nur noch 5^{mm} zeigt. Da 5 gleich ist $\frac{66}{1000}$ von 754, so folgt, daß die Dichtigkeit der Luft, welche jetzt noch im Ballon zurückgeblieben ist, 0,0066 von der Luftmenge ist, welche den Ballon vor dem Auspumpen anfüllte; von dieser Luftmenge wurden also 0,9934 ausgepumpt, und diese ausgepumpte Luft wiegt 12,01 Gramme. Die ausgepumpte Luftmenge aber verhält sich zu der Menge der gesammten Luft im Ballon offenbar wie 0,9934 zu 1, und daraus ergiebt sich dann, daß das Gewicht der Luft, welche bei 18^0 C. und einem Barometerstande von 754^{mm} den Ballon füllt, 12,09 Gramm wiegt; es waren also nach dem Auspumpen noch 0,08 Gramm Luft im Ballon zurückgeblieben.

Wenn bei übrigens unveränderten Umständen der Barometerstand nicht 754, sondern 760 Millimeter betragen hätte, so würde das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft im Verhältniß von 754 zu 760 mehr betragen haben, bei 18^0 C. und einem Barometerstande von 760^{mm} wiegt demnach die in unserm Ballon enthaltene Luft $12,09 \frac{760}{754} = 12,19$ Gramm.

Nun bleibt nur noch übrig, auf 0° zu reduciren, d. h. zu berechnen, wie viel die Luft im Ballon wiegen würde, wenn die Temperatur von 18° auf 0° fiele. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 18° dehnt sich die Luft im Verhältniß von 1 zu $1 + 0{,}00366 \cdot 18$, d. h. im Verhältniß von 1 zu 1,0659 aus; bei einer Temperaturerniedrigung von 18° bis 0° wird also die Luft im Verhältniß von 1 : 1,0659 dichter; wir finden also das Gewicht der Luft, welche den Ballon bei 760^{mm} Barometerstand und einer Temperatur von 0° füllt, wenn wir die Zahl 12,19 mit 1,0659 multipliciren; es ergiebt sich bei Ausführung der Rechnung 12,99 für die gesuchte Zahl. Ein Kubikcentimeter Luft wiegt demnach bei 0° und 760^{mm} Barometerstand 0,001299 Gramm; unter diesen Umständen ist also die Dichtigkeit der Luft 770mal geringer als die des Wassers.

Ist einmal die Dichtigkeit der Luft für 0° bekannt, so kann man sie für jede andere Temperatur berechnen, oder, mit anderen Worten, wenn man weiß, wie viel ein Kubikcentimeter Luft bei 0° wiegt, so kann man berechnen, wie viel es bei jeder anderen Temperatur wiegen muß. Wenn der Barometerstand sich nicht ändert, so dehnt sich die Luft für eine Temperaturerhöhung von 0° bis t^0 im Verhältniß von 1 zu $1 + 0{,}00366\, t$ aus, ihre Dichtigkeit nimmt also bei dieser Temperaturerhöhung im Verhältniß von $1 + 0{,}00366\, t$ zu 1 ab. Wenn also bei 0° ein Kubikcentimeter Luft 0,001299 Gr. wiegt, so wird dasselbe Volumen Luft bei t Grad $\frac{0{,}001299}{1 + 0{,}00366\, t}$ Gramm wiegen. Auf diese Weise ist die folgende Tabelle berechnet, welche das Gewicht n von 1 Kubikcentimeter trockner Luft für einen Barometerstand von 760^{mm} und die von 10 zu 10° fortschreitenden Temperaturen von 0° bis 290° in Milligrammen ausgedrückt enthält.

t	n	t	n	t	n
0	1,299^{mg}	100	0,953^{mg}	200	0,751^{mg}
10	1,253	110	0,927	210	0,735
20	1,211	120	0,903	220	0,720
30	1,171	130	0,881	230	0,706
40	1,134	140	0,860	240	0,692
50	1,099	150	0,839	250	0,680
60	1,066	160	0,820	260	0,667
70	1,035	170	0,802	270	0,654
80	1,006	180	0,784	280	0,642
90	0,978	190	0,767	290	0,631

Dichtigkeit der Gase. Wenn man die Dichtigkeit irgend eines Ga- 121
ses bei der Temperatur von 0^0 und einem Drucke von 760^{mm} mit d bezeichnet, mit d' aber die Dichtigkeit desselben Gases bei einer Temperatur von t^0 und einem Drucke h, so ist es leicht, die Beziehung zu finden, welche zwischen den beiden Tensionen, den beiden Temperaturen und den beiden Dichtigkeiten stattfindet. Wenn bei unverändertem Drucke die Temperatur von 0^0 auf t^0 steigt, wird 1 Kubikcentimeter Gas sich bis zu $1 + 0{,}00365\ t$ ausdehnen; wenn aber außerdem noch der Druck von 760^{mm} in h übergeht, so wird das Volumen jener Gasmenge

$$\frac{(1 + 0{,}00366\ t)\ 760}{h}.$$

Die Dichtigkeit des Gases in beiden Fällen verhält sich aber umgekehrt wie die Volumina, also

$$\frac{d'}{d} = \frac{h}{760\ (1 + 0{,}00366\ t)}.$$

Es folgt daraus, daß die Dichtigkeiten zweier verschiedener Gase stets in demselben Verhältnisse zu einander stehen, so lange beide gleiche Temperaturen haben und gleichem Drucke ausgesetzt sind. Bei der Temperatur der Rothglühhitze also, wie bei 0^0, bei einem Drucke von 10 Atmosphären wie bei dem einer einzigen, wird die Dichtigkeit des Wasserstoffgases immer 0,0688, also ungefähr $^1/_{15}$ von der Dichtigkeit der in gleichen Verhältnissen sich befindenden Luft seyn. Es bleibt dies so lange wahr, als die Gase dem Mariotte'schen Gesetze folgen.

Dies giebt nun auch ein Mittel an die Hand, um die Dichtigkeit von Gasen zu bestimmen; man vergleicht nur ihr Gewicht mit dem Gewichte eines gleichen Volumens Luft von derselben Tension und derselben Temperatur.

Es sey z. B. das Gewicht eines Ballons mit trockner Luft = 192 Gramm
Gewicht des ausgepumpten Ballons . . . . . = 181 »
Gewicht der ausgepumpten Luft . . . . = 11 Gramm.

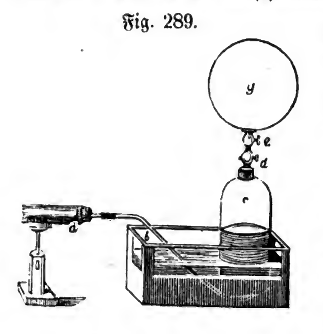
Es sey ferner das Gewicht des mit kohlensaurem Gase gefüllten Ballons . . . . = 197,77 Gr.
Davon abgezogen das Gewicht des leeren Ballons . = 181 »
Bleibt für das Gewicht des kohlensauren Gases, welches der Ballon faßt . . . . = 16,77 Gr.

Die Dichtigkeit des kohlensauren Gases ist demnach $\frac{16{,}77}{11}$, oder 1,524, wenn die der Luft = 1 ist. Dies Resultat bedarf durchaus keiner Correction wegen der Wärme und des Drucks, vorausgesetzt, daß die Luft

und das kohlensaure Gas den Ballon bei gleichem Barometerstande füllten und vollkommen gleiche Temperatur hatten.

Um einen Ballon mit verschiedenen Gasarten zu füllen, wendet man eine Glocke *c* an, welche oben mit einem Hahne *d*, Fig. 289, versehen ist. Die Glocke wird auf Quecksilber gesetzt, der Hahn *d* geöffnet und darüber eine Handluftpumpe aufgeschraubt, mittelst welcher man die Glocke luftleer machen kann. Je mehr man evacuirt, desto mehr steigt das Quecksilber in der Glocke; wenn sie ganz mit Quecksilber gefüllt ist, wird der Hahn *d* geschlossen, die Luftpumpe ab- und statt deren ein evacuirter Ballon *g* aufgeschraubt. Man läßt nun das entwickelte Gas durch ein Chlorcalciumrohr *a* und die gebogene Glasröhre *b* in die Glocke *c* treten. Wenn die Glocke *c* mit Gas gefüllt ist, öffnet man die Hähne *d* und *e*, das Gas verbreitet sich in den Ballon, zugleich aber steigt das Quecksilber in *c* wieder in die Höhe. Sobald es in den obern Theil von *c* gestiegen ist, schließt man wieder einen der Hähne, bis sich die Glocke *c* von Neuem mit Gas gefüllt hat. Später kann man beide Hähne fortwährend offen lassen. Man fährt mit der Gasentwicklung so lange fort, bis die Kugel und die Glocke ganz mit Gas gefüllt sind und der Quecksilberspiegel in und außer der Glocke gleich hoch steht. Sobald dies der Fall ist, schließt man den Hahn *e* und schraubt den Ballen ab, um ihn zu wiegen.

Fig. 289.



In der folgenden Tabelle findet man die Dichtigkeit der wichtigsten Gasarten nach den besten Beobachtungen:

Namen der Gase.	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. 760mm Druck in Grammen.	Namen der Beobachter.
Jodwasserstoffgas . .	4,4288	5,7719	Gay-Lussac.
Chlor	2,4216	3,2088	Gay-Lussac u. Thénard.
Schweflige Säure . .	2,1930	2,8489	H. Davy.
Cyangas	1,8197	2,3467	Gay-Lussac.
Stickoxydulgas . . .	1,5269	1,9752	Colin.
Kohlensäure	1,5245	1,9805	Berzelius u. Dulong.
Chlorwasserstoff . . .	1,2474	1,6205	Biot u. Arago.
Schwefelwasserstoff . .	1,1912	1,5475	Gay-Lussac u. Thénard.
Sauerstoff	1,1026	1,4323	Berzelius u. Dulong.
Stickoxydgas	1,0388	1,3495	Bérard.
Stickgas	0,9757	1,2675	Berzelius u. Dulong.
Kohlenoxydgas . . .	0,9769	1,2431	Cruikshank.
Ammoniakgas . . .	0,5967	0,7752	Biot u. Arago.
Wasserstoffgas . . .	0,0688	0,0894	Berzelius u. Dulong.

Bei den in der zweiten Columne angegebenen Zahlen ist die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft zur Einheit genommen.

Zweites Kapitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

Schmelzen. Man sieht leicht, daß das Schmelzen, d. h. der Uebergang eines Körpers aus dem festen Zustande in den flüssigen, ein durch die Wärme hervorgebrachtes Phänomen ist, und daß keine andere Kraft in der Natur im Stande ist, diese Wirkung hervorzubringen. Man kann Eis zerbrechen und zu Pulver stoßen, man mag darauf alle mechanischen und sonstigen Kräfte wirken lassen, es wird nicht in Wasser verwandelt, wenn nicht die Wärme auf dasselbe einwirkt. Ebenso verhält es sich mit dem Wachs, dem Blei u. s. w. Ob also ein Körper fest oder flüssig ist, hängt einzig und allein von seiner Temperatur ab. In einer andern Entfernung von der Sonne würde die Erde einen ganz andern Anblick darbieten; in größerer Nähe würden die meisten Metalle beständig flüssig, in größerer Entfernung hingegen würde das Meer eine feste Masse seyn, es gäbe kein fließendes Wasser und wahrscheinlich keine Flüssigkeit mehr, deren Circulation die Phänomene des Thier- und Pflanzenlebens hervorbringt. 122

Da die Wärme alle Körper durchdringt und ausdehnt, so liegt die Frage nahe, ob sie auch alle festen Körper schmelzen kann. In dieser Beziehung aber findet man große Unterschiede unter den Körpern; einige sind leicht schmelzbar und gehen schon bei niedrigen Temperaturen in den flüssigen Zustand über, z. B. Eis, Phosphor, Schwefel, Wachs, Fett u. s. w.; andere bedürfen zum Schmelzen schon höherer Temperaturen, wie Zinn, Blei u. s. w.; endlich giebt es Körper, welche erst bei sehr hohen Temperaturen schmelzen, wie Gold, Eisen, Platin. Die Kohle zu schmelzen, ist bis jetzt noch nicht gelungen, wenngleich mehrere Physiker behaupten, an den Kanten von Diamanten, die sie dem Versuche unterworfen hatten, Spuren von Schmelzung bemerkt zu haben. Der Analogie nach muß man schließen, daß es keine absolut unschmelzbare Körper giebt, daß alle schmelzen würden, wenn man nur hinreichend hohe Temperaturen hervorbringen könnte.

Organische Körper erleiden unter Einwirkung der Wärme meist eine chemische Zersetzung, ehe sie zum Schmelzen kommen.

Mehrere unorganische Körper zersetzen sich ebenfalls, bevor sie schmelzen. Hall hat jedoch gezeigt, daß mehrere dieser Körper gleichwohl geschmolzen werden können, wenn man sie während des Erhitzens unter einem so starken Drucke erhält, daß die flüchtigen Bestandtheile nicht entweichen können. Auf diese Weise hat Hall Marmor und mehrere vulkanische Substanzen geschmolzen. Diese Resultate sind in geologischer Beziehung von der höchsten Wichtigkeit.

123 **Bedingungen des Schmelzens.** Wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, beobachtet man zwei merkwürdige Phänomene. Erstens bleibt er fest bis zu einer bestimmten festen Temperatur, welche für denselben Körper unveränderlich ist, und bei welcher allein die Schmelzung beginnen kann; und zweitens ändert sich während des Schmelzens die Temperatur nicht, wie viel Wärme auch in den Körper eindringen mag. Es wird also beim Schmelzen Wärme absorbirt, welche sich gleichsam im Körper versteckt, ohne auf das Gefühl oder das Thermometer weiter zu wirken. Die Unveränderlichkeit des Schmelzpunktes und die Absorption der latenten Wärme sind zwei wesentliche Bedingungen des Schmelzens. Im Jahre 1763 hat Black die Absorption der latenten Wärme beim Schmelzen, eine der wichtigsten Fundamentalwahrheiten der Wärmelehre, nachgewiesen. Von diesem Binden der Wärme beim Schmelzen überzeugt man sich am besten, wenn man 1 Pfund Schnee von 0^{0} und 1 Pfd. Wasser von 79^{0} mit einander mischt. Der Schnee schmilzt, und man erhält 2 Pfd. Wasser von 0^{0}. Alle Wärme also, welche in dem heißen Wasser enthalten war, ist für das Thermometer spurlos verschwunden, sie ist lediglich

dazu verwendet worden, um Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln.

Wenn Schnee oder gestoßenes Eis etwa von — 10° und Kochsalz von — 10° gemengt werden, so verbinden sie sich zu einer flüssigen Salzlösung; dabei sinkt die Temperatur mehr und mehr, weil ja durch das Flüssigwerden zweier vorher fester Körper viel Wärme gebunden wird. Auf diesem Princip beruhen die sogenannten Kältemischungen, die wir alsbald näher betrachten werden.

Gerade so, wie in dem eben angeführten Beispiele die Mischung des Salzes mit dem Schnee leichter flüssig ist als jeder der Bestandtheile, so schmilzt auch kohlensaures Kali und kohlensaures Natron zusammen leichter als jeder dieser Körper für sich; eine Legirung von 8 Wismuth, 5 Blei und 3 Zinn (Rose's Metallgemisch) hat einen tiefern Schmelzpunkt als jedes dieser Metalle einzeln genommen. In der Chemie findet man eine Menge Fälle dieser Art.

Die folgende Tabelle enthält die Schmelzpunkte verschiedener Substanzen.

Gehämmertes englisches Eisen	1600	Grad
Weiches französisches Eisen	1500	»
Der strengflüssigste Stahl	1400	»
Der leichtflüssigste Stahl	1300	»
Graues Gußeisen, zweite Schmelzung	1200	»
Leichtflüssiges weißes Gußeisen	1050	»
Gold	1250	»
Silber	1000	»
Bronze	900	»
Antimon	432	»
Zink	360	»
Blei	334	»
Wismuth	256	»
Zinn	230	»
Legirung aus 5 Theilen Zinn, 1 Blei	194	»
Schwefel	109	»
Legirung aus 8 Wismuth, 5 Blei, 3 Zinn	100	»
» » 4 Wismuth, 1 Blei, 1 Zinn	94	»
Natrium	90	»
Kalium	58	»
Phosphor	43	»
Stearinsäure	70	»
Weißes Wachs	68	»
Gelbes Wachs	61	»

Stearin	49 bis 43°
Wallrath	49 Grad
Essigsäure	45 »
Seife	33 »
Eis	0 »
Terpentinöl	— 10 »
Quecksilber	— 39 »

124 **Das Festwerden.** Beim Uebergange der Körper aus dem flüssigen Zustande in den festen beobachtet man ganz analoge Erscheinungen wie beim Schmelzen; es findet nämlich erstens bei einer bestimmten Temperatur statt, welche mit dem Schmelzpunkte zusammenfällt, und zweitens wird alle latente Wärme, welche beim Schmelzen gebunden worden war, beim Festwerden wieder frei.

Eine Erscheinung, welche das Freiwerden der gebundenen Wärme beim Festwerden flüssiger Körper beweist, ist folgende: Im Jahre 1714 hatte Fahrenheit die Beobachtung gemacht, daß unter gewissen Umständen das reine Wasser bis auf — 10 bis — 12° erkaltet werden könne, ohne zu gefrieren. Manchmal findet dies schon an freier Luft Statt, sicherer aber kann man diese Erscheinung hervorrufen, wenn man dafür sorgt, daß das zu erkaltende Wasser nur einem schwachen Luft- oder Dampfdrucke ausgesetzt ist. Man kann dies dadurch bewirken, daß man in einer Glasröhre, welche oben in eine feine Spitze ausgezogen ist, Wasser ins Kochen bringt, und wenn man denkt, daß durch die Dämpfe alle Luft ausgetrieben worden sey, die feine Spitze zuschmilzt. Es befindet sich alsdann über dem Wasser in dem Glase nur noch Wasserdampf, welcher bei niedrigen Temperaturen nur einen sehr geringen Druck ausübt. Wenn man ein solches Glasrohr einer Temperatur von — 12° aussetzt, so bleibt das Wasser noch flüssig, eine Erschütterung aber macht, daß die ganze Wassermasse plötzlich gefriert. Wenn man nun dafür gesorgt hat, daß sich im Innern der Glasröhre ein Thermometer befindet, dessen Kugel in das Wasser eingetaucht ist, und an welchem man die niedrige Temperatur von — 12° ablesen kann, so beobachtet man, wie dieses Thermometer in dem Augenblick, wo das Wasser fest wird, bis auf 0° steigt.

Die Schnelligkeit, mit welcher das Festwerden unter diesen Umständen vor sich geht, und das Steigen des Thermometers sind zwei Phänomene, welche sich leicht erklären lassen. Die latente Wärme der ersten Theilchen, welche gefrieren, geht auf die benachbarten, noch flüssigen Theilchen über. Sie werden zwar erwärmt, aber nicht hinreichend, um ihr Erstarren zu verhindern; daher die doppelte Wirkung des Festwerdens und der Erwärmung.

Wenn das Festwerden bei der gewöhnlichen Erstarrungstemperatur vor sich geht, so geschieht es immer nur langsam und ohne Temperaturerhöhung. Wenn z. B. das Wasser bei 0° gefriert, so beginnt das Erstarren in der Regel gleichzeitig an verschiedenen Punkten, und an diesen Stellen geben die zuerst erstarrenden Theilchen ihre latente Wärme an die benachbarten ab, welche dadurch noch einige Augenblicke flüssig erhalten werden. Deshalb beobachtet man dünne Eisblättchen und feine Eisnadeln, welche auf mannigfaltige Weise in der flüssigen Masse gleichsam fortwachsen. Auf diese Weise zerstreut sich die latente Wärme nach und nach; ohne die latente Wärme müßte die ganze flüssige Masse, bis zur Erstarrungstemperatur erkaltet, auf einmal fest werden.

Ein und dieselbe flüssige Substanz kann beim Festwerden ein ganz verschiedenes Ansehn, ganz verschiedene Eigenschaften annehmen. Wenn das Phänomen langsam und ohne Störung vor sich geht, so krystallisirt der Körper in der Regel und nimmt seine größte Dichtigkeit an. Wenn dagegen das Erkalten rasch erfolgt, und wenn die Masse auf irgend eine Weise bewegt wird, so haben die Theilchen nicht Zeit sich regelmäßig zu gruppiren.

Reines Wismuth krystallisirt unter allen Metallen am leichtesten. Man schmilzt es in einem Tiegel, gießt es vorher in eine etwas erwärmte Schale und wartet dann, bis sich auf der Oberfläche eine hinlänglich feste Kruste gebildet hat, die nun durchstochen wird, um das noch flüssige Metall abzugießen. Auf diese Weise erhält man mehrere Linien große glänzende und irisirende würfelförmige Krystalle, welche das Innere der Höhlung erfüllen, welche durch die zuerst erkaltende äußere feste Kruste eingeschlossen wird.

Durch ein ähnliches Verfahren erhielt Mitscherlich ½ Zoll dicke Schwefelkrystalle von der größten Regelmäßigkeit, indem er 50 Pfund Schwefel zusammenschmolz. Das Bad wurde allmälig 4 — 5 Stunden lang erkaltet, dann die Kruste, welche sich oben gebildet hatte, durchstoßen, um den noch flüssigen Schwefel abzugießen.

Rudberg hat interessante Beobachtungen über das Festwerden geschmolzener Legirungen von Blei und Zinn, Zinn und Wismuth, Zinn und Zink, Zink und Wismuth gemacht. Werden z. B. Zinn und Blei in irgend einem Verhältniß zusammenschmolzen, ein Thermometer hineingesenkt und die Erkaltungszeit mit dem Sinken des Thermometers verglichen, so findet man, daß das Thermometer auf einem gewissen Punkte stationär bleibt, ohne daß noch das Metall sichtbar zu erstarren anfängt, daß es darauf weiter sinkt und zum zweitenmale stationär bleibt, wenn die ganze Masse erstarrt. Rudberg fand, daß dieser letztere Punkt auf denselben Thermometergrad fällt, in welchem Verhältniß die Metalle auch gemischt sind, daß aber der andere variirt und bei dem Zusatz des schon vor-

herrschenden Metalls höher wird, und umgekehrt. Daher nennt er den ersteren Punkt den beständigen, den letzteren den veränderlichen.

Den Erstarrungspunkt des Zinns fand Rudberg bei 228°, den des Bleis bei 325°. Der beständige Punkt, wobei eine Legirung beider erstarrt, ist 187°; allein für eine Legirung von 3 Aequivalenten Blei und 1 Aequivalent Zinn ist der erste am Thermometer stationäre, also der veränderliche Punkt 280°. Je mehr Zinn man nun der Legirung zusetzt, desto tiefer sinkt der veränderliche Punkt, er ist 200° für eine Mischung von 1 Aeq. Blei und 2 Aeq. Zinn. Bei einer Legirung von 1 Aeq. Blei und 3 Aeq. Zinn fehlt der veränderliche Punkt ganz, und es findet nur der feste Erstarrungspunkt von 187° statt. Wenn man nun noch mehr Zinn zusetzt, so steigt der veränderliche Punkt wieder.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete Rudberg bei den übrigen der erwähnten Legirungen.

125 **Binden der Wärme beim Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand.** Wir haben soeben gesehen, daß eine bedeutende Menge Wärme nöthig ist, um Eis oder Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Diese Wärme ist in dem Wasser gebunden, sie ist für das Gefühl und für das Thermometer gleichsam verschwunden.

Wir haben gesehen, daß ein Kilogramm Wasser von 79°, mit einem Kilogramm Schnee von 0° gemischt, die Schmelzung des Schnees bewirkt, daß man 2 Kilogramm Wasser von 0° erhält; alle Wärme also, welche bei einer Temperaturerniedrigung von 79° aus einem Kilogramm Wasser austritt, wird verwendet, um den Schnee flüssig zu machen, ohne daß seine Temperatur erhöht wird.

Bezeichnen wir die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von einem Kilogramm Wasser um 1° zu erhöhen, mit 1, so ist die Wärmemenge, welche bei der Schmelzung von einem Kilogramm Schnee oder Eis gebunden wird, gleich 79.

Damit der Versuch ein richtiges Resultat liefere, muß er mit einiger Vorsicht angestellt werden; vor allen Dingen muß die Mischung rasch vor sich gehen, und man muß sie an einem Orte vornehmen, an welchem die Temperatur der Luft 0° oder doch nur wenig von 0° verschieden ist, damit man sicher seyn kann, daß nicht Wärme aus der Umgebung eindringt und einen Theil des Schnees schmilzt, oder daß nicht umgekehrt ein Theil der Wärme des Wassers an die kältere Umgebung abgegeben wird. Mit dicken Eisstücken gelingt der Versuch nicht, weil sie dem warmen Wasser nicht Berührungspunkte genug bieten und weil deshalb die Schmelzung des Eises zu langsam vor sich geht, also jedenfalls ein Theil der Wärme des Wassers an die Umgebung verloren wird.

Nach neueren mit größter Genauigkeit angestellten Versuchen, welche

de la Provostaye und Desains über die Schmelzungswärme des Eises angestellt haben, ist 79,25 für die bisher nach den calorimetrischen Versuchen von Lavoisier und Laplace angenommene Zahl 75 zu setzen.

So wie bei der Schmelzung des Eises und des Schnees Wärme gebunden wird, so ist dies auch beim Schmelzen anderer Körper der Fall. Folgendes sind die Werthe der latenten Wärme für einige Körper nach Irvine's Bestimmungen:

Schwefel	80
Blei	90
Wachs	97
Zink	274
Zinn	278
Wismuth	305

Die Bedeutung dieser Zahlen ist leicht einzusehen; während ein Kilogramm Schnee zu seiner Schmelzung 79 Wärmeeinheiten, d. h. 79mal so viel Wärme nöthig hat, als erforderlich ist, um die Temperatur von einem Kilogramm Wasser um 1° zu erhöhen, sind zur Schmelzung von einem Kilogramm Schwefel 80, zur Schmelzung von einem Kilogramm Blei, Wachs, Zink u. s. w. 90, 97, 274 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

So wie beim Schmelzen eines festen Körpers Wärme gebunden wird, so findet auch eine Wärmebindung Statt, wenn ein fester Körper durch Auflösung in den flüssigen Zustand übergeführt wird; man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man ein fein gepulvertes, leicht lösliches Salz, etwa Salpeter, in Wasser wirft und die Auflösung durch Umrühren befördert; die Temperatur des Wassers wird dabei um einige Grade sinken. Darauf gründen sich, wie dies schon auf Seite 307 angeführt wurde, die Kältemischungen; folgende sind die gewöhnlichsten Kältemischungen; die Temperaturerniedrigung, welche man durch sie hervorbringen kann, ist bei jeder angegeben.

Gepulvertes Glaubersalz, mit Salzsäure übergossen . . . . von + 10° bis — 17° C.

5	Gewichtstheile	Salmiak	von + 10° bis — 12°
5	»	Salpeter	
19	»	Wasser	
1	»	Kochsalz	von 0° bis — 17,7°
3	»	Schnee	
3	»	Salzsaurer Kalk	von 0° bis — 28°
2	»	Schnee	
1	»	verdünnte Schwefelsäure	von — 7° bis — 51°.
1	»	Schnee	

Um mit solchen Mischungen bedeutende Kältegrade hervorzubringen, muß man möglichst große Quantitäten, wenigstens 3 bis 4 Pfunde der zu mischenden Substanzen anwenden, und muß die Salze fein pulvern, damit die Auflösung rasch vor sich gehen kann. Das Gefäß, in welchem man die Mischung macht, muß von schlecht leitenden Substanzen umgeben seyn, damit nicht von außen her Wärme zugeführt wird.

Um sehr hohe Kältegrade zu erreichen, muß man die zu mischenden Substanzen selbst vor der Mischung stark erkalten.

Die Temperatur von — 17,7°, die man erhält, wenn man 1 Theil Kochsalz mit 3 Theilen Schnee mischt, ist der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers.

Statt des oben angegebenen salzsauren Kalks darf man kein Chlorcalcium nehmen; der salzsaure Kalk ist freilich nichts anderes als Chlorcalcium, welches mit Krystallwasser verbunden ist; wollte man wasserfreies Chlorcalcium zu einer Kältemischung anwenden, so würde es erst so viel Wasser aufnehmen als nöthig ist, um den salzsauren Kalk zu bilden, dabei würde aber Wärme frei werden, wodurch dann nothwendig die erkaltende Wirkung der Mischung sehr vermindert wird.

Wenn ein flüssiger Körper fest wird, so muß alle Wärme frei werden, welche beim Uebergang in den flüssigen Zustand gebunden worden war. Schon auf Seite 308 ist angeführt worden, wie man die beim Gefrieren des Wassers frei werdende Wärme fühlbar machen kann.

Auch wenn Wasser sich mit irgend einer andern Substanz zu einem festen Körper verbindet, muß Wärme frei werden. Dadurch erklärt sich die hohe Temperatur, welche entsteht, wenn man gebrannten Kalk mit Wasser übergießt; das Wasser verbindet sich nämlich mit dem kaustischen Kalk zu Kalkhydrat.

Wenn ein Körper aus einer Auflösung herauskrystallisirt, so muß alle Wärme frei werden, die bei seiner Auflösung gebunden wurde; meistens geht aber die Krystallisation nur langsam vor sich, so daß man hier ebenso wenig eine Temperaturerhöhung nachweisen kann; wie bei dem Gefrieren des Wassers unter den gewöhnlichen Umständen; doch läßt sich die bei dem Krystallisiren frei werdende Wärme am Thermometer durch folgendes Verfahren sichtbar machen. Man löse 3 Theile Glaubersalz in 2 Theilen Wasser bei hoher Temperatur auf, gieße dann etwas Oel auf die heiße Auflösung und lasse sie ruhig erkalten. Bei diesem ruhigen Erkalten krystallisirt das Salz noch nicht aus der Lösung heraus, obgleich sie gewissermaßen für die Temperatur, bis zu welcher sie sich abgekühlt hat, übersättigt ist. Wenn man aber nun die unterdrückte Krystallisation dadurch einleitet, daß man irgend einen festen Körper in die Lösung bringt, so bil-

den sich plötzlich eine Menge von Glaubersalz-Krystallen, und die Temperatur der Lösung steigt dabei oft um 15 bis 20 Grad.

Dampfbildung. Wenn eine Flüssigkeit mit der Luft in Berührung 126 ist, so nimmt ihre Menge mehr und mehr ab, und nach kürzerer oder längerer Zeit verschwindet sie vollständig. Das Wasser, welches nach einem Regen den Boden bedeckt, widersteht nicht dem Wehen eines trockenen Windes und der Einwirkung des Sonnenscheins, es verschwindet, nicht allein weil es in den Boden einsickert, sondern auch weil es in der Luft verdunstet.

Das Phänomen der Verdunstung geht rascher vor sich, wenn man eine Schale mit Wasser über Feuer zum Kochen bringt; in kurzer Zeit ist alles Wasser verschwunden, und doch ist es nicht vom Gefäße verschluckt worden. Es geht daraus hervor, daß die Flüssigkeiten ihren Aggregatzustand ändern, daß sie unsichtbar und expansilbel werden wie die Gase. Mit dem Namen D a m p f bezeichnet man eine in gasförmigen Zustand übergegangene Flüssigkeit.

Man war lange Zeit der irrigen Meinung, daß die Dämpfe für sich selbst nicht bestehen könnten; man glaubte, sie seyen ganz in derselben Weise in der Luft aufgelös't wie die Salze im Wasser; um eine Flüssigkeit gasförmig zu machen, bedürfe es eben so eines Auflösungsmittels, der Luft, wie ein Lösungsmittel, etwa Wasser, nöthig sey, um die festen Salze flüssig zu machen. Um die Unrichtigkeit dieser Meinung darzuthun und zugleich die wahren Gesetze der Dampfbildung zu studiren, muß man machen, daß die Dampfbildung im luftleeren Raume vor sich geht. Dazu eignet sich nun die toricellische Leere ganz vorzüglich, nicht allein weil man es mit einem vollkommen luftleeren Raum zu thun hat, sondern auch weil die Depression der beweglichen Quecksilbersäule ein Mittel bietet, die Expansivkraft der Dämpfe zu messen.

Fig. 290.



Nehmen wir an, man habe in einem weiteren, mit Quecksilber gefüllten Gefäße $v v'$ (Fig. 290) drei toricellische Röhren neben einander gestellt, so wird in allen das Quecksilber gleich hoch stehen; wenn man aber mit Hülfe einer gekrümmten Pipette etwas Wasser in die eine Röhre b' bringt, so steigt es alsbald bis zur toricellischen Leere in die Höhe, und augenblicklich sinkt auch der Gipfel der Quecksilbersäule um einige Millimeter. Dem Gewicht der kleinen Wasserschicht, welche jetzt auf dem Quecksilber schwimmt, kann man diese Depression nicht zuschreiben; hat man,

Fig. 291.

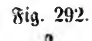


wie es nöthig ist, wenn der Versuch entscheidend seyn soll, Wasser genommen, welches durch Kochen vollständig von Luft befreit worden ist, so kann man jene Depression auch nicht der aus dem Wasser sich entbindenden Luft zuschreiben. Aus dem Wasser müssen sich also Dämpfe entwickelt haben, welche, wie die Gase, eine Tension haben, denn diese Wasserdämpfe wirken gerade so, als ob man eine kleine Portion Luft in die leere Kammer hätte aufsteigen lassen.

Die Größe der Depression giebt zugleich ein Maaß für die Spannkraft der Wasserdämpfe. Nehmen wir an, die durch die Wasserdämpfe deprimirte Quecksilberkuppe *t* stehe um 15^{mm} tiefer als die Kuppe *c* des anderen Barometers, über welcher sich noch ein vollkommenes Vacuum befindet, so ist klar, daß die Wasserdämpfe auf die Kuppe *t* gerade so stark drücken als eine Quecksilbersäule von 15^{mm} Höhe. Die Depression von 15^{mm} ist also wirklich das Maaß für die Spannkraft des Wasserdampfs.

Hätte man in das dritte Barometerrohr *b''* anstatt Wasser eine andere Flüssigkeit, etwa Schwefeläther, gebracht, so würde man eine weit bedeutendere Depression bemerkt haben als beim Wasser, denn bei einer mittleren Temperatur beträgt die Depression fast die Hälfte der Höhe des Barometers *b*; es folgt daraus, daß unter diesen Umständen der Aetherdampf eine Spannkraft hat, welche fast dem Druck einer halben Atmosphäre gleich ist.

127 **Maximum der Spannkraft der Dämpfe.** Das Bestreben der Dämpfe sich auszudehnen, geht, wie bei den Gasen, bis in's Unendliche, d. h. die kleinste Menge Dampf breitet sich in einem leeren Raume, so groß er auch seyn mag, nach allen Seiten aus und übt auf die Wände immer noch einen mehr oder minder großen Druck aus. Die kleinste Menge Wasser ist also fähig in Dampfgestalt einen Raum von mehreren tausend Kubikmetern in derselben Weise auszufüllen wie die Luft. Obgleich aber die Dämpfe eine bis in's Unendliche gehende Expansionskraft haben, so kann man doch ihre Spannkraft nicht durch vermehrten Druck beliebig vergrößern, wie dies bei Gasen der Fall ist. Man mag eine gegebene Luftmenge noch so stark comprimiren, immer wird nach dem Mariotte'schen Gesetze ihre Elasticität in demselben Verhältniß zunehmen, in welchem ihr Volumen verkleinert wird. Wenn man versucht, Dämpfe zu comprimiren, um dadurch ihre Elasticität zu vergrößern, so gelangt man bald zu einem Punkte,


Fig. 292.



wo sich der Dampf verdichtet und in den flüssigen Zustand zurückkehrt. Diese Grenze des Widerstandes, bei welcher jede fernere Compression keine Vermehrung der Elasticität des Dampfs hervorbringt, sondern ihn flüssig macht, nennt man das Maximum der Tension des Dampfes.

Um diesen charakteristischen Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen durch den Versuch nachzuweisen, bedient man sich am zweckmäßigsten des schon auf S. 132 Bd. I. beschriebenen Apparates; nur bringt man nicht Luft in die Barometerröhre, sondern etwas Aether. Man füllt zu diesem Zweck die toricellische Röhre sehr sorgfältig mit Quecksilber, so daß alle Luft möglichst entfernt ist, was man am vollständigsten durch Auskochen erreicht. Ist die Röhre so bis auf 1 — 2 Centimeter mit Quecksilber gefüllt, so gießt man diesen Raume noch voll Aether, kehrt die Röhre um und taucht sie in das Gefäß *cn*. Der Aether steigt alsbald in die Höhe, ein Theil bleibt flüssig, ein anderer verdampft im leeren Raum und bewirkt eine bedeutende Depression der Quecksilbersäule. Die Säule *ns* habe z. B. nur noch eine Höhe von 400^{mm}, während sie 760^{mm} hoch seyn würde, wenn oben ein Vacuum wäre, so ist die Spannkraft des Aetherdampfs gleich 360^{mm}. Wenn man nun die toricellische Röhre tiefer in die mit Quecksilber gefüllte Röhre *cc'* hinabdrückt, um dadurch den mit Aetherdampf gefüllten Raum zu verkleinern, so beobachtet man, daß die Höhe der Quecksilbersäule *ns* ganz unverändert bleibt. Wäre statt des Aetherdampfs Luft im oberen Theile der Röhre gewesen, so wissen wir, daß, wenn beim Niederdrücken das Volumen der abgesperrten Luft verkleinert wird, auch ihre Elasticität zunimmt, so daß die Höhe der Quecksilbersäule im Barometerrohr abnimmt (S. 132 Bd. I.). Hier beim Dampf ist die Sache ganz anders, das Volumen des Aetherdampfs wird vermindert, ohne daß seine Elasticität zunimmt, denn die Höhe der Säule *ns* bleibt ja dieselbe. Je mehr man aber niederdrückt, desto mehr nimmt die Menge des flüssigen Aethers zu, die Verkleinerung des mit Aetherdämpfen erfüllten Raums bewirkt also, daß sich ein Theil der Dämpfe wieder zu flüssigem Aether condensirt, während die übrigen Dämpfe ihre Spannkraft nicht ändern. Wenn man also den mit Aetherdampf gefüllten Raum auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. w. comprimirt, so wird auch $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. w. des Dampfes condensirt. Fährt man fort das Rohr niederzudrücken, so gelangt man bald zu einem Punkte, wo aller Dampf verdichtet ist, so daß

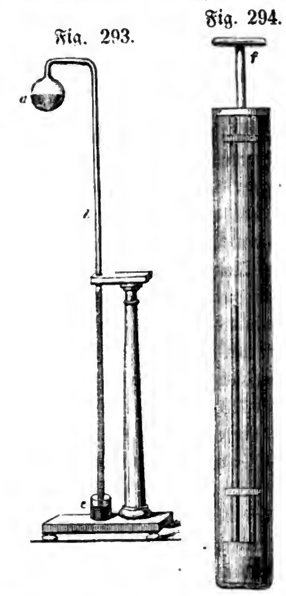
sich nur noch flüssiger Aether über der Quecksilbersäule befindet; dieses völlige Verschwinden der Dampfblase ist jedoch schwer zu erreichen, weil der Aether immer etwas absorbirte Luft enthält.

Hebt man die Röhre wieder, so behält die Quecksilbersäule immer noch dieselbe Höhe ns, während die flüssige Aetherschicht fortwährend abnimmt, was beweis't, daß sich sogleich wieder Dampf bildet, um den vergrößerten Raum auszufüllen und in demselben das Maximum der Spannkraft zu erreichen. Wenn man aber nur wenig Aether in die Röhre bringt und sie hinlänglich hebt, daß alle Flüssigkeit vollständig verschwindet, so wird nun bei fernerem Heben auch die Quecksilbersäule steigen; der Aetherdampf ist also nicht mehr im Maximum der Spannkraft, er verhält sich bei fernerer Vergrößerung seines Volumens gerade so wie ein Gas.

128 **Gleichgewicht der Spannkraft in einem ungleich erwärmten Raume.** Man überzeugt sich leicht, welch bedeutenden Einfluß die Temperatur auf das Maximum der Tension der Dämpfe ausübt, denn wenn man die eben erwähnten Versuche bei verschiedenen Temperaturen anstellt, so wird die Depression der Barometersäule sehr ungleich ausfallen. Bei 0^0 erhält man z. B. mit Aether nur eine Depression von 180^{mm}, während sie bei 30 Grad 630^{mm} beträgt. Phänomene, welche wir immer vor Augen haben, geben uns auch hinlängliche Beweise von dieser Wahrheit. Der Wasserdampf, wie er sich an der Oberfläche der Flüsse und Seen bildet, hat nur eine geringe Spannkraft; wenn das Wasser kocht, ist die Spannkraft der Dämpfe schon so groß, daß sie dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht halten kann, und bei noch höhern Temperaturen wächst diese Tension dermaßen, daß sie die furchtbarsten Explosionen von Dampfkesseln bewirkt. Man kann demnach fragen, welches wohl das Maximum der Tension des Dampfes in einem Raume seyn wird, welcher an verschiedenen Stellen ungleich erwärmt ist Nach den Bedingungen des Gleichgewichts gasförmiger Körper muß an allen Stellen dieses Raumes der Dampf gleiche Tension haben, und da an den kälteren Stellen die Spannkraft des Dampfes nicht so groß seyn kann als an den wärmeren, so ist klar, daß im ganzen Raume die Tension der Dämpfe dieselbe seyn muß wie an der kältesten Stelle, daß also an den wärmeren Stellen der Dampf nicht das Maximum der Spannkraft erreichen kann, welches dieser höheren Temperatur zukommt.

Dies Princip läßt sich mit Hülfe des Apparates Fig. 293 anschaulich machen. Wenn die Kugel a halb voll Aether gefüllt ist, bringt man diese Flüssigkeit ins Kochen; hat das Kochen einige Zeit lang fortgedauert, so daß man überzeugt seyn kann, alle Luft ausgetrieben zu haben, so taucht man das unten offene Ende der Röhre b, aus welchem der Dampfstrom entwich, rasch in ein Gefäß mit Quecksilber c. Beim Erkalten der Kugel

condensirt sich ein Theil der Dämpfe, das Quecksilber steigt in der Röhre, bis die ganze Kugel zu der Temperatur der umgebenden Luft erkaltet ist. Von diesem Moment an steigt das Quecksilber nicht mehr; wenn man aber die Kugel noch unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, so steigt das Quecksilber von neuem, und zwar bis zu derselben Höhe, als wenn nicht nur die Kugel, sondern auch die ganze Röhre bis zum Quecksilber eben so stark erkaltet worden wäre.


Fig. 293. Fig. 294.

Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe. 129 Um die Spannkraft des Wasserdampfs zu bestimmen, hat man verschiedenartige Apparate anzuwenden, je nachdem man sie für eine Temperatur zwischen 0° und 100°, unter 0° oder über 100° ermitteln will.

Zwischen 0° und 100° wendet man den Fig. 294 abgebildeten Apparat an. Er besteht aus zwei Barometerröhren, welche neben einander in dasselbe Gefäß eingetaucht sind; die erste dieser Röhren bildet ein vollständiges Barometer, in der zweiten befindet sich über dem Quecksilber etwas Wasser, welches zum Theil im leeren Raum verdampft. Diese beiden Röhren werden mittelst eines Eisenstabes in ein hinlänglich tiefes Glasgefäß eingesenkt. Dieses Gefäß ist ganz mit Wasser gefüllt, welches man bis zu jeder beliebigen Temperatur zwischen 0° und 100° erwärmen kann. Die Temperatur dieses Wassers, welches durch zweckmäßig angebrachte Thermometer bestimmt wird, ist zugleich die der beiden Barometer und des Wasserdampfs in dem einen. Um die Elasticität des Wasserdampfs zu erhalten, welche jedem Temperaturgrade entspricht, hat man nur zu bestimmen, in welchem Verhältniß die Depression des Dampfbarometers zur Höhe der Quecksilbersäule im vollständigen Barometer steht. Wenn diese Depression auf 0 reducirt wird, so hat man die wahre Spannkraft des Wasserdampfs. Dies ist das einfache Verfahren, welches Dalton in Manchester im Jahre 1805 anwandte, um die Gesetze der Dämpfe zu studiren, und welches ihm diente, um die wahre Theorie ihrer Bildung und ihrer Elasticität zu begründen.

Um die Spannkraft der Wasserdämpfe unter 100° zu bestimmen, wandte Schmidt einen anderen Apparat an. Auf das Quecksilber im

Gefäß eines vollkommen fertigen Gefäßbarometers, Fig. 295, wurde Wasser gebracht. Das Gefäß war zuvor in eine feine Spitze ausgezogen worden, welche, nachdem das Wasser einige Zeit lang gekocht hatte, so daß man überzeugt seyn konnte, alle Luft ausgetrieben zu haben, zugeschmolzen wurde. Ueber dem Wasser im Gefäß befanden sich jetzt nur noch Wasserdämpfe, welche sich beim Erkalten mehr und mehr verdichteten. Je weiter nun diese Verdichtung vor sich schritt, desto mehr nahm die Spannkraft der Dämpfe ab, desto mehr sank auch die Quecksilbersäule in der Röhre, deren Höhe ursprünglich dem Barometerstande gleich war. Die Differenz im Stande des Quecksilberspiegels in der Röhre und im Gefäß, welche man für eine bestimmte Temperatur des Gefäßes beobachtet, giebt unmittelbar die Spannkraft des Wasserdampfs für diese Temperatur. Taucht man z. B. das Gefäß in Wasser von 25°, so beobachtet man, daß in diesem Falle das Quecksilber in der Röhre 23 Millimeter über dem Quecksilberspiegel im Gefäß steht; die Wasserdämpfe, welche sich also bei 25° bilden, haben eine solche Spannkraft, daß sie eine 23 Millimeter hohe Quecksilbersäule tragen können.

Fig. 295.

Selbst unter 0° haben die Wasserdämpfe noch eine Spannkraft, das Eis verdampft wie das Wasser. Um die Spannkraft der Dämpfe bei so niedrigen Temperaturen zu messen, kann man den schon erwähnten Apparat Fig. 293 anwenden; nur hat man in die Kugel Wasser zu bringen und alle Luft durch hinlänglich langes Kochen vollständig auszutreiben, bevor man das untere Ende der Röhre in das Quecksilbergefäß taucht. Um die Spannkraft des Wasserdampfs bei 0° zu erhalten, taucht man nur die Kugel in ein mit gestoßenem schmelzenden Eis oder Schnee gefülltes Gefäß. Das Quecksilber in der Röhre steigt, jedoch erreicht die Säule nicht ganz die Höhe des gerade stattfindenden Barometerstandes, man beobachtet noch eine Depression von 5^{mm}.

Um die Spannkraft der Dämpfe für Temperaturen unter 0° zu erhalten, wendet man statt des schmelzenden Eises Kältemischungen an, deren Temperatur immer mit Hülfe eines Thermometers genau bestimmt werden kann. Nach dem Princip, von welchem in der vorigen Nummer die Rede war, ist die Spannkraft der Dämpfe in dem ganzen durch die Quecksilbersäule abgesperrten Raume nicht größer, als sie am kältesten Theile der Kugel seyn kann. Eine Folge davon ist auch, daß ein kleines Wassersäulchen, welches gewöhnlich auf der Quecksilbersäule schwimmt, kleiner und kleiner wird und endlich ganz verschwindet, weil die Wasserdämpfe, die sich hier bilden, rasch zur Kugel übergehen, wo sie sich zu Wasser verdichten.

Wenn es sich darum handelt, genaue Resultate zu erhalten, muß die Röhre genau vertikal stehen, und die Höhe der Quecksilbersäule mit großer Genauigkeit gemessen werden.

Mit diesem Apparat kann man überhaupt die Spannkraft der Dämpfe für alle Temperaturen bestimmen, welche niedriger sind als die der umgebenden Luft.

Um die Spannkraft der Wasserdämpfe für Temperaturen über 100° zu messen, kann man einen Apparat anwenden, welcher sich von dem, welchen Schmidt anwandte, um die Spannkraft unter 100° zu messen, nur dadurch unterscheidet, daß die längere Röhre oben offen ist, daß also die Atmosphäre auf das Quecksilber in der Röhre drücken kann. Wenn vor dem Zuschmelzen des Gefäßes der längere Schenkel offen ist, so stellt sich das Quecksilber in beiden gleich hoch. Man hat nach dem Zuschmelzen der Spitze über dem Quecksilber im Gefäß nur Wasser, welches erst Dämpfe bilden kann, bei Temperaturen, für welche ihre Spannkraft größer ist als der Druck einer Atmosphäre. Bringt man das Gefäß in Oel, dessen Temperatur mehr als 100° beträgt, so bilden sich Wasserdämpfe, welche auf das Quecksilber im Gefäß drücken und es im langen Rohre steigen machen. Die Differenz der Quecksilberspiegel im Gefäß und der Röhre giebt an, wie viel die Spannkraft der Dämpfe größer ist als ein Atmosphärendruck.

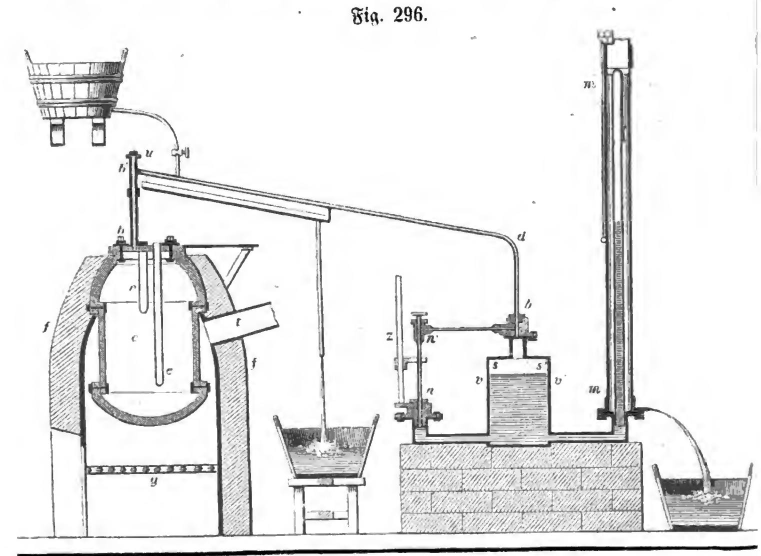
Um die Röhre vor dem Zerbrechen zu schützen und um zugleich die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule messen zu können, ist der Apparat auf einem getheilten Stabe befestigt. Wenn die Röhre lang genug ist, kann man mit dieser Vorrichtung die Tension der Wasserdämpfe bis zu 3 bis 4 Atmosphären messen.

Statt des langen Rohres kann man auch ein kürzeres anwenden, welches mit Luft gefüllt und oben verschlossen ist. Wenn die Wasserdämpfe im Gefäß das Quecksilber in die Röhre treiben, so wird die abgesperrte Luft comprimirt, und man kann leicht aus der Compression und der Höhendifferenz der beiden Quecksilberspiegel die Spannkraft des Wasserdampfes berechnen.

Wenn die Spannkraft der Dämpfe den Druck mehrerer Atmosphären übersteigt, hat man sehr große Schwierigkeiten zu überwinden. Die Wissenschaft besaß über diesen Punkt nur unzuverlässige Thatsachen, als Arago und Dulong von der französischen Akademie der Wissenschaften beauftragt wurden, die Elasticität der Wasserdämpfe bis zum höchsten Druck genau zu ermitteln, welcher noch bei industriellen Anwendungen vorkommen kann. Diese große Arbeit wurde im Jahre 1830 vollendet. Die Bestätigung des Mariotte'schen Gesetzes bis zu einem Druck von 27 Atmosphären war nur eine Vorarbeit zu dieser wichtigen Untersuchung.

Der Apparat, dessen sie sich bedienten, ist Fig. 296 abgebildet. Der Dampf wurde in einem starken Dampfkessel *c* von Eisenblech erzeugt,

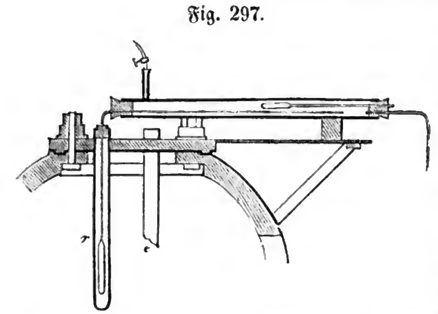
Fig. 296.



welcher ohngefähr ein Volumen von 80 Litern hatte. Am cylindrischen Theile, welcher der schwächste war, hatte die Wand eine Dicke von 13ᵐᵐ. Die Figur zeigt noch den Ofen *f*, den Rost *g* und die Röhre *t*, durch welche der Rauch entweicht.

Hätte man die Thermometer, welche zur Messung der Temperaturen dienen sollten, unmittelbar in den Dampfkessel gebracht, so wäre zu befürchten gewesen, daß der Druck der Dämpfe das Gefäß der Thermometer comprimirt hätte, und daß in Folge dessen das Quecksilber in den Thermometerröhren höher gestiegen wäre, als der Temperaturerhöhung entspricht. Um dies zu vermeiden, waren zwei Flintenläufe, *e* und *r*, in den Deckel eingelassen, welche oben offen und unten verschlossen mit Quecksilber gefüllt waren. Der eine dieser Läufe ragte bis in das Wasser des Kessels herab, der andre nicht ganz bis auf den Wasserspiegel, so daß das Quecksilber im einen Laufe die Temperatur des Wassers, im andern die des Dampfes angab. In jeden Lauf war nun ein Thermometer eingesenkt, dessen Röhre oberhalb des Laufes horizontal umgebogen war. Weil das Quecksilber der Thermometerröhre, da wo sie sich außerhalb des Quecksilbers befindet, eine geringere

Fig. 297.



Temperatur hat, so können Fehler entstehen, wenn man diese Temperaturdifferenz nicht in Rechnung bringt. Um dies möglich zu machen, wird der horizontale Theil der Röhre durch einen Wasserstrom auf constanter Temperatur erhalten. Diese Anordnung ist deutlicher aus Fig. 297 zu ersehen.

Um die Spannkraft der Dämpfe zu messen, wurde dieselbe Manometerröhre angewandt, welche zuvor gedient hatte, um das Mariotti'sche Gesetz bis auf 27 Atmosphären zu prüfen. Statt daß aber das Wasser durch eine Druckpumpe in das gußeiserne Gefäß $v v'$ (Fig. 296) eingepreßt wurde, übt jetzt der Dampf diesen Druck aus. Aus dem Dampfkessel erhebt sich nämlich eine vertikale Röhre $b b'$, in welcher der Dampf aufsteigt und bei u gegen den Gipfel einer Wassersäule drückt, welche die geneigte Röhre $u d h$ und den obern Theil des Gefäßes $v v'$ füllt. Dieser Druck pflanzt sich auf die Oberfläche des Quecksilbers in $v v'$ fort und bewirkt eine Compression der Luft in der Manometerröhre $m m'$. Da man den Druck kennt, welcher jedem Stande des Quecksilbers in der Manometerröhre entspricht, so kann man daraus leicht die Spannkraft des Dampfes ermitteln. Nur sind noch zwei Correctionen nöthig, eine wegen der verticalen Höhe der Wassersäule von u bis zum Quecksilberspiegel in $v v'$, die andre wegen der veränderlichen Höhe des Quecksilbers in diesem Gefäße. Um diese Höhe genau ermitteln zu können, ist eine Glasröhre $n n'$ mit dem oberen und unteren Theile des Gefäßes $v v'$ in Verbindung gebracht, und man kann den Stand des Quecksilbers in dieser Röhre mit Hülfe eines auf dem getheilten Stabe z beweglichen Schiebers beobachten.

Damit das Wasser in dem oberen Theile der Röhre $u d$ nicht erwärmt werden kann, wird sie durch einen beständig fließenden Wasserstrom auf constanter Temperatur erhalten.

Die Beobachtungen mit diesem Apparate wurden in folgender Weise angestellt. Nachdem in den Kessel eine solche Menge Wasser gegossen war, daß der Behälter des kleineren Thermometers eben über dem Wasserspiegel war, wurde die Flüssigkeit 15 bis 20 Minuten lang im Kochen erhalten, während das Sicherheitsventil des Kessels und die vertikale Röhre $b b'$ offen blieb, um alle atmosphärische Luft auszutreiben. Auf den Rost des Ofens wurde dann eine größere oder kleinere Menge Brennmaterial auf-

gelegt, je nachdem man eine höhere oder weniger hohe Temperatur zu erhalten beabsichtigte, und nun alle Oeffnungen des Kessels geschlossen. Die beiden Thermometer und die Quecksilbersäule im Manometer begannen nun rasch zu steigen, bald aber wurde das Steigen langsamer und erreichte ein Maximum. In dem Moment dieses Maximums wurde der Stand der Thermometer von dem einen Beobachter, der Stand des Manometers aber von dem andern notirt. Auf diese Weise wurden 30 Beobachtungen gemacht; die niedrigste Temperatur war 123,7⁰ und die entsprechende beobachtete Spannkraft des Dampfes war 2,14 Atmosphären, die höchste Temperatur war 223,15⁰ und die entsprechende Spannkraft 23,994 Atmosphären.

Zwischen dem großen und kleinen Thermometer fanden gewöhnlich kleine Differenzen Statt, jedoch betrug der größte Unterschied nur 0,7⁰; bei den meisten Beobachtungen war jedoch der Unterschied weit kleiner. Die Angaben des großen Thermometers wurden als die zuverlässigeren betrachtet, weil man wohl annehmen kann, daß der in das Wasser eingetauchte Behälter des großen Thermometers rascher die Temperatur der Umgebung annimmt als der von dem weit weniger dichten Dampf umgebene.

Um nach den gemachten Beobachtungen die Spannkraft der Dämpfe für Temperaturen zu bestimmen, welche zwischen die beobachteten fallen, muß man eine empirische Formel zwischen der Spannkraft e und der entsprechenden Temperatur t suchen, welche sich den gemachten Beobachtungen möglichst gut anschließt. Nach solchen empirischen Formeln sind nun die folgenden Tabellen berechnet.

Erste Tabelle.

Spannkraft des Wasserdampfs von — 20⁰ bis 100⁰ C.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
—20	1,333	0,0018	9	8,909	0,0122
—15	1,879	0,0026	10	9,475	0,0129
—10	2,631	0,0036	11	10,074	0,0137
— 5	3,660	0,0050	12	10,707	0,0146
0	5,059	0,0069	13	11,378	0,0155
1	5,393	0,0074	14	12,087	0,0165
2	5,748	0,0078	15	12,837	0,0170
3	6,123	0,0084	16	13,630	0,0186
4	6,523	0,0089	17	14,468	0,0197
5	6,947	0,0094	18	15,353	0,0209
6	7,396	0,0101	19	16,288	0,0222
7	7,871	0,0107	20	17,314	0,0235
8	8,375	0,0114	21	18,317	0,0250

Fortsetzung der ersten Tabelle.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
22	19,447	0,0265	62	138,960	0,21586
23	20,577	0,0281	63	165,560	0,22639
24	21,805	0,0297	64	174,470	0,23758
25	23,090	0,0314	65	182,710	0,24823
26	24,452	0,0334	66	191,270	0,25986
27	25,881	0,0353	67	200,180	0,27196
28	27,390	0,0374	68	209,440	0,28454
29	29,045	0,0396	69	219,060	0,29761
30	30,643	0,0418	70	229,070	0,31121
31	32,410	0,0440	71	239,450	0,32532
32	34,261	0,0465	72	250,230	0,33996
33	36,188	0,0492	73	261,430	0,35518
34	38,254	0,0520	74	273,030	0,37094
35	40,404	0,0549	75	285,070	0,39632
36	42,743	0,0581	76	297,570	0,40428
37	45,038	0,0612	77	310,490	0,42184
38	47,759	0,0646	78	323,890	0,44004
39	50,147	0,0681	79	337,760	0,45888
40	52,998	0,0720	80	352,080	0,47834
41	55,772	0,0758	81	367,000	0,49860
42	58,792	0,0799	82	382,380	0,51950
43	61,958	0,08418	83	398,280	0,54110
44	65,627	0,08916	84	414,730	0,56345
45	68,751	0,09340	85	431,710	0,58652
46	72,393	0,09835	86	449,260	,61036
47	76,205	0,1035	87	467,380	0,63498
48	80,195	0,10900	88	486,090	0,66040
49	84,370	0,11662	89	505,380	0,68661
50	88,743	0,12056	90	525,28	0,71364
51	93,301	0,12676	91	547,80	0,74152
52	98,075	0,13325	92	566,95	0,77026
53	103,060	0,13999	93	588,74	0,79986
54	108,070	0,14710	94	611,18	0,83035
55	113,710	0,15449	95	634,27	0,86172
56	119,390	0,16220	96	658,05	0,89402
57	125,310	0,17035	97	682,59	0,92736
58	131,500	0,17866	98	707,63	0,96138
59	137,940	0,18736	99	733,46	0,99448
60	144,660	0,19653	100	760,00	0,03253
61	151,700	0,20610			

Zweite Tabelle.

Spannkraft in Atmosf., die Atmosf. gleich 76 Centim. Quecks.	Entsprechende Temperaturen nach dem 100theil. Quecksilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Spannkraft in Atmosf., die Atmosf. gleich 76 Centim. Quecks.	Entsprechende Temperaturen nach dem 100theil. Quecksilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
1	100	1,033	13	193,7	13,429
1½	112,2	1,549	14	197,19	14,462
2	121,4	2,066	15	200,48	15,495
2½	128,8	2,582	16	203,60	16,528
3	135,1	3,099	17	206,57	17,561
3½	140,6	3,615	18	209,4	18,594
4	145,4	4,832	19	212,1	19,627
4½	149,06	4,648	20	214,7	20,660
5	153,08	5,165	21	217,2	21,693
5½	156,8	5,681	22	219,6	22,726
6	160,2	6,198	23	221,9	23,759
6½	163,48	6,714	24	224,2	24,792
7	166,5	7,231	25	226,3	25,825
7½	169,37	7,747	30	236,2	30,990
8	172,1	8,264	35	244,85	36,155
9	177,1	9,297	40	252,55	41,320
10	181,6	10,33	45	259,52	46,485
11	186,03	11,363	50	265,89	51,650
12	190,0	12,396			

Dritte Tabelle.

Spannkraft in Atmosphären ausgedr.	Entsprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Spannkraft in Atmosphären ausgedr.	Entsprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
100	311,36	103,3	600	462,71	619,8
200	363,58	206,6	700	478,45	723,1
300	397,65	309,9	800	492,47	826,4
400	423,57	413,2	900	505,16	929,7
500	444,70	516,5	1000	516,76	1033,0

Die erste dieser Tabellen ist nach einer etwas complicirten Formel berechnet, welche nach den von Dalton zwischen 0° und 100° gemachten Beobachtungen construirt wurde.

Den Beobachtungen von Arago und Dulong entspricht bis zu 4 Atmosphären am besten eine von Tredgold aufgestellte empirische Formel

$$log.\ e = \frac{23{,}94571\, t}{800 + 3\, t}\, 2{,}2960383,$$

wo e die Spannkraft und t die Temperatur bezeichnet; nach dieser Formel ist die zweite Tabelle bis zu 4 Atmosphären berechnet. Ueber 4 Atmosphären stimmt die Formel

$$e = (1 + 0{,}7153\, t)^5$$

besser mit den Versuchen überein, in welcher t die Temperaturen über 100° bezeichnet, wenn man 100° zur Einheit nimmt; für 136° z. B. hat man zu setzen $t = 0{,}36$. Nach dieser ist die zweite Tabelle von 4 Atmosphären an berechnet, sie geht noch über die Grenzen der Beobachtung, d. h. noch über 24 Atmosphären hinaus bis zu 50 Atmosphären. Auch die dritte Tabelle ist nach dieser Formel berechnet.

Um die Relation zwischen der Temperatur und der Spannkraft des Wasserdampfs darzustellen, sind schon über 30 empirische Formeln aufgestellt worden, welche sich bald mehr, bald weniger der Erfahrung anschließen. Eine ziemlich einfache Beziehung ergiebt sich aus folgender Betrachtung.

Die folgende kleine Tafel enthält aus den Versuchen von Dulong und Arago abgeleitete, nach einer geometrischen Reihe fortschreitende Spannkräfte des Wasserdampfs nebst den zugehörigen Temperaturen.

Atmosphären.	Temperatur in Graden.	Differenz in Graden.
1	100	
		21,4
2	121,4	
		24
4	145,4	
		26,7
8	172,1	
		31,5
16	203,6	

Die dritte Columne dieser Tafel enthält die Temperaturdifferenzen, um welche jedes Mal die Temperatur steigen muß, damit die zugehörige Tension der Wasserdämpfe verdoppelt wird. Die Zahlen dieser Columne sind nun sehr nahe Glieder einer geometrischen Reihe, denn die Quotienten je zweier auf einander folgender sind fast gleich; durch sehr unbedeutende Correctionen läßt sich wirklich eine geometrische Reihe aus ihnen bilden.

Nehmen wir die Temperaturen 100°, 145,4°, 203,6°, zu welchen die Spannkräfte 1, 4 und 16 Atmosphären gehören, als absolut genau an, so ist es leicht, die Temperaturen, welche den Spannkräften 2 und 8 Atmosphären entsprechen, so zu berechnen, daß die jedesmaligen Temperaturdifferenzen eine geometrische Reihe bilden. Dieser Bedingung leisten die in der zweiten Columne der folgenden Tafel enthaltenen berechneten Temperaturen Genüge.

Atmosphären.	Berechnete Temperatur in Graden.	Beobachtete Temperatur in Graden.	Differenz.
1	100	100	0
2	121,292	121,4	— 0,108
4	145,4	145,4	0
	172,695	172,1	+ 0,595
16	203,6	203,6	0

Wir nehmen also an, daß von 100° ausgehend die Temperatur um 21,292° wachsen müsse, um die Spannkraft zu verdoppeln; sie abermals zu verdoppeln, muß die Temperatur um $21,292 \times 1,13224$ wachsen. Um die Spannkraft von 4 bis zu 8 Atmosphären zu steigern, muß die Temperatur wieder um $21,292 \times 1,13224^2$ wachsen u. s. w.

Die Differenzen in der letzten Columne liegen ganz innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler.

Das eben betrachtete Gesetz ist aus Beobachtungen zwischen 100° und 203,6° abgeleitet worden, und es ließ sich deshalb auch erwarten, daß es innerhalb dieser Grenzen sich den Beobachtungen gut anschließt. Es fragt sich nun aber, wie die nach diesem Gesetze berechneten Werthe unter 100° mit der Beobachtung übereinstimmen. Unsrer Hypothese zufolge muß die Spannkraft gleich einer halben Atmosphäre werden, wenn die Temperatur von 100° um $\frac{21,292}{1,13224}$ Grad sind. Eine abermalige Temperaturerniedrigung um $\frac{21,292}{1,13224^2}$ Grad muß die Spannkraft auf $^1/_4$ Atmosphäre reduciren u. s. w. Auf diese Weise sind die Temperaturen der folgenden Tabelle berechnet, welche der Tension $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ u. s. w. Atmosphäre entsprechen.

Temperatur.	Spannkraft		Spannkraft nach Dalton.	Differenz in Millim.
	in Atm.	in Millim.		
81,19	1/2	380	370	+ 10
64,58	1/4	190	179,4	+ 10,6
49,91	1/8	95	87,3	+ 7,7
36,96	1/16	47,5	44,9	+ 2,6
25,54	1/32	23,75	23,77	— 0,02
15,41	1/64	11,87	13,16	— 1,29
6,48	1/1·8	5,94	7,62	— 1,68
— 1,4	1/256	2,97	4,59	— 1,62
— 8,36	1/512	1,48	3,04	— 1,56

Man sieht aus dieser Tabelle, daß unsere Hypothese über 25⁰ größere, unter 25⁰ aber kleinere Werthe giebt als die Dalton'sche Tafel S. 222, jedoch sind die Abweichungen noch nicht so groß als die Differenzen der Beobachtungen der verschiedenen Physiker. Die Beobachtungen von Arzberger stimmen am besten mit unserer Rechnung, sie fallen mit derselben stets auf dieselbe Seite der Dalton'schen, d. h. nach Arzberger ist die Spannkraft auch unter 25⁰ kleiner, über 25⁰ größer, als sie Dalton angiebt. Nach Arzberger ist die Tension für 81,19 Grad 383,5^{mm}, was nur um 3,5^{mm} von unserer Rechnung abweicht. Schmidt hat hier eine noch größere Spannkraft gefunden als Arzberger, unser Resultat fällt also zwischen die verschiedenen Beobachtungen.

Aus unserer Hypothese ergiebt sich folgende Formel:

$$\log. e = 5{,}58108 . \log. (1 + 0{,}0062108\, t)$$

wo e die Spannkraft, t die Anzahl Grade bezeichnet, um welche die gerade betrachtete Temperatur von 100⁰ abweicht. Für Temperaturen über 100⁰ ist t positiv, unter 100⁰ negativ zu setzen.

Fig. 297.

Die Kurve ab Fig. 297 stellt das Gesetz der Spannkraft der Wasserdämpfe dar. Die Temperaturen sind als Abscissen, die Spannkräfte als Ordinaten aufgetragen.

Spannkraft der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten. 131 Man sieht aus den vorhergehenden Ta-

bellen, daß für die Temperatur des Siedepunktes die Spannkraft des Wasserdampfs dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht hält; dies ist ganz allgemein wahr; die Spannkraft des Dampfes, welcher sich aus irgend einer kochenden Flüssigkeit bildet, ist immer dem Drucke gleich, welcher auf der Oberfläche der Flüssigkeit lastet; denn wenn sie geringer wäre, so könnte der Dampf nicht in Gestalt von Blasen im Innern der Flüssigkeit bestehen; und wenn sie stärker wäre, so müßte sich der Dampf schon früher gebildet haben. Für den Siedepunkt haben die Dämpfe aller Flüssigkeiten gleiche Spannkraft. Dalton glaubte, daß für eine gleiche Anzahl Grade über oder unter dem Siedepunkt die Spannkräfte immer noch gleich seyen. Nach dem Dalton'schen Gesetze wäre es also nur nöthig die Tafel für die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs zu haben und den Siedepunkt einer Flüssigkeit zu kennen, um die Spannkraft ihrer Dämpfe für alle Temperaturen zu ermitteln. Der Siedepunkt des Alkohols z. B. ist 78°; die Spannkraft des Alkoholdampfs bei 113°, also 35° über dem Siedepunkt, müßte der Spannkraft des Wasserdampfs bei 135° gleich seyn, welche 2280^{mm} oder 3 Atmosphären ist. Nach diesem Gesetze wäre die Spannkraft des gesättigten Alkoholdampfes bei 0° gleich 19^{mm}, weil dies die Spannkraft des Wasserdampfs bei einer Temperatur ist, welche 78° unter dem Siedepunkt des Wassers liegt. Aus den Versuchen mehrerer Physiker geht jedoch hervor, daß dies Gesetz nicht genau ist. Bei größeren Entfernungen vom Siedepunkt weicht es merklich von der Wahrheit ab, und wenn es auch als erste Annäherung einen bequemen Ueberblick erlaubt, so muß man es doch verlassen, wo Genauigkeit gefordert wird.

Es wäre zu wünschen, daß man über die Spannkraft der Dämpfe der gewöhnlicheren Flüssigkeiten wenigstens eben so genaue und vollständige Versuchsreihen hätte als über den Wasserdampf. Die Resultate der wenigen hierüber angestellten Versuche sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

Die Spannkräfte des Weingeistdampfes in der ersten Tabelle sind nach den besten Versuchen von Ure und Schmidt, die Spannkraft des Aetherdampfs nach Versuchen von Schmidt und Munke berechnet. Die dritte Columne giebt die Tension der Dämpfe von Schwefelkohlenstoff nach den Versuchen von Marx.

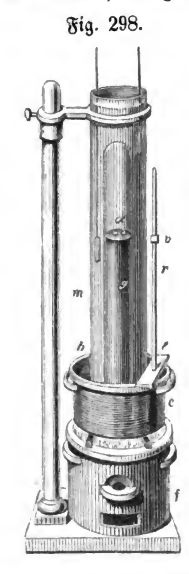
Temperatur.	Spannkraft der Dämpfe von		
	Weingeist.	Schwefelkohlenstoff.	Schwefeläther.
— 5		90mm	108mm
0	9mm	130	148
+ 10	18	192	237
20	35	290	378
30	62	423	575
40	111	594	855
50	189	828	1,6 Atm.
60	310	1134	2,3
70	494	—	3,2
80	769	—	4,4
90	1,54 Atm.	—	5,9
100	2,37	—	7,8
125	12,56	—	15
250	145,2	—	151

Ueber die Spannkraft einiger condensirten Gase hat Bunsen Versuche angestellt, deren Resultate in folgender Tabelle enthalten sind.

Temperatur.	Schweflige Säure.	Cyangas.	Ammoniak.
— 37	—	—	749mm
— 20	—	800mm	—
— 15	—	1100	—
— 10	780mm	1410	—
— 5	1110	1730	3040
0	1480	2070	3610
+ 5	1910	2440	4260
10	2390	2880	4980
15	2930	3330	5780
20	3540	3800	6674
25	4200	—	—

132 **Dichtigkeit des Wasserdampfs.** Unter allen Mitteln, welche man angewandt hat, um die Dichtigkeit des Wasserdampfes zu bestimmen, scheint das von Gay-Lussac angegebene Verfahren das einfachste und strengste zu seyn; es besteht darin, direct das Gewicht, das Volumen, die Temperatur und die Spannkraft einer gegebenen Quantität Dampf zu suchen. Der von ihm angewandte Apparat ist Fig. 298 dargestellt. Auf einem Ofen *f* steht ein gußeisernes Gefäß *c*, welches Quecksilber enthält, *g* ist eine graduirte Röhre von 3 bis 4 Decimeter Länge, welche in das Quecksilber des Gefäßes *c* eingetaucht ist. *m* ist ein Mantel von Glas, welcher mit einer geeigneten Flüssigkeit vollgegossen wird, so daß die Röhre vom Niveau des Quecksilbers in *c* an bis zur Spitze mit dieser Flüssigkeit umgeben ist. Durch das Brett *t*, welches auf dem abgeschliffenen genau horizontalen Rande des Gefäßes *c* aufliegt, geht ein getheilter Stab *r* vertikal hindurch. Bevor die Röhre *g* in das Gefäß *c* eingetaucht wird, muß sie erst mit Quecksilber so gefüllt werden, daß alle Luft ausgetrieben ist, daß also nach ihrem Umkehren und nach dem Eintauchen in das Quecksilber des Gefäßes *c* die Röhre *g* noch vollständig im Quecksilber gefüllt ist und an der Spitze sich keine Luftblase zeigt. Man läßt nun ein Glaskügelchen, welches, in eine feine Spitze ausgezogen, fast ganz mit Wasser gefüllt und dann zugeschmolzen worden ist, in der Röhre *g* in die Höhe steigen. Wenn man nun glühende Kohlen in den Ofen bringt, so wird alles erwärmt. Das Wasser in dem zugeschmolzenen Glaskügelchen dehnt sich aus und zersprengt seine Hülle. Sogleich bilden sich Wasserdämpfe im obern Theile der Röhre *g*, und das Quecksilber sinkt. Man steigert die Temperatur so lange, bis alles Wasser vollständig verdampft ist, und erhält dann das Ganze eine Zeit lang auf einer constanten Temperatur, während man die nöthigen Beobachtungen macht.

Fig. 298.



1⁰. Wenn alles Wasser verdampft ist, kennt man genau das Gewicht des Dampfes, denn das Glaskügelchen muß man vorher leer, dann mit Wasser gefüllt gewogen haben; die Differenz dieser beiden Gewichte ist das Gewicht des Wassers, also auch das Gewicht des Dampfes, welcher nun im obern Theile der Röhre *g* sich befindet.

2⁰. Man beobachtet die Anzahl der Theilstriche auf der Röhre, welche der Dampf einnimmt. Da der Raum zwischen je zwei Theilstrichen der Röhre bei der Temperatur von 0⁰ bekannt ist, so kann man leicht mit

Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases die Capacität zwischen zwei Theilstrichen für die Temperatur berechnen, bei welcher alle Beobachtungen gemacht worden. Auf diese Weise bestimmt man das Volumen des Dampfes.

3⁰. Zweckmäßig angebrachte Thermometer geben die Temperatur der Flüssigkeit in der Hülle und des Dampfes in der Röhre an.

4⁰. Die Spannkraft des Dampfes endlich beobachtet man mit Hülfe des getheilten Stabes *r*. Man schiebt diesen Stab so weit herunter, daß sein unteres Ende eben den Quecksilberspiegel im Gefäß *c* berührt, und dann rückt man den Schieber *v* genau in die Höhe der Quecksilberkuppe in der Röhre, so daß also die Quecksilberkuppe und der untere Rand des Schiebers in einer horizontalen Linie liegen. Die Höhe des Stabes von unten bis zu dem Schieber giebt die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre. Diese Höhe auf 0⁰ reducirt und von dem auf 0⁰ reducirten Barometerstande abgezogen, giebt die Spannkraft des Dampfes. Um sicher zu seyn, daß alles Wasser vollständig verdampft ist, muß man so weit erwärmen, daß der Dampf für diese Temperatur nicht mehr gesättigt ist, daß also die beobachtete Spannkraft geringer ist als das Maximum der Spannkraft für die beobachtete Temperatur.

Man kennt nun das Gewicht eines gegebenen Volumens Dampf, welcher bei bekannter Temperatur einen bekannten Druck ausübt, und kann danach leicht berechnen, wie viel ein Kubikcentimeter dieses Dampfes wiegt. Man kann aber nun auch leicht nach den Angaben auf S. 301 berechnen, wie viel ein Kubikcentimeter Luft bei demselben Drucke und bei derselben Temperatur wiegt. Ist nun das Gewicht gleicher Volumina Luft und Wasserdampf bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke bekannt, so kann man leicht das Verhältniß der Dichtigkeit des Wasserdampfs zur Dichtigkeit der Luft bestimmen. Nach Gay-Lussac's Versuchen ist die Dichtigkeit des Wasserdampfs $^5/_8$ von der der Luft.

Man kann nun leicht berechnen, welchen Raum $1^{gr.}$ Wasserdampf bei 100⁰ und einem Druck von 760^{mm} bei dem Maximum des Drucks für diese Temperatur einnehmen muß.

Ein Kubikcentimeter Luft von 0⁰ und einem Drucke von 760^{mm} wiegt 0,001299 Gramm. Bei unverändertem Drucke bis zu 100⁰ erwärmt, dehnt sich die Luft so aus, daß aus dem Einen Kubikcentimeter 1,375 Kub.-C. werden. Wenn aber $0{,}001299^{gr.}$ einen Raum von 1,375 Kub.-C. einnimmt, so wird $1^{gr.}$ dieser Luft einen Raum von $\frac{1{,}375}{0{,}001299} = 1058{,}47$ Kub.-C. einnehmen.

Ein Gramm Wasserdampf von 100⁰ und 760^{mm} Spannkraft muß aber einen $^8/_5$mal so großen Raum, also einen Raum von 1693,55 Kub.-C. einnehmen. Ein Kub.-C. Wasser nimmt also, wenn es bei 100⁰ verdampft,

einen sehr nahe 1700mal größern Raum ein, vorausgesetzt, daß der Dampf sich im Maximum der Spannkraft befindet.

Aus unsern Daten kann man aber auch die Dichtigkeit d' des Wasserdampfs für irgend eine Temperatur t und irgend einen Druck p berechnen; denn wenn man mit d die Dichtigkeit bei 100° und einem Drucke von 760^{mm} bezeichnet, so findet man

$$d' = d \frac{p}{760} \frac{(1 + 100\alpha)}{(1 + \alpha t)}$$

wo α den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bezeichnet. Nach dieser Formel sind die folgenden Tafeln berechnet, und dabei ist noch Gay-Lussac's Coëfficient $\alpha = 0{,}00375$ angenommen. Diese Tabellen geben die Dichtigkeit des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, wie sie schon in den obigen Tabellen angegeben worden ist.

Erste Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, wenn man zur Einheit die Dichtigkeit und das Volumen des flüssigen Wassers bei 0° nimmt:

von — 20° bis 100°.

Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.
— 20	1,333	0,00000154	650588	13	11,378	0,00001157	86426
— 15	1,879	212	470898	14	12,087	1224	81686
— 10	2,631	292	342984	15	12,837	1299	77008
— 5	3,660	398	251358	16	13,630	1372	72913
0	5,059	540	182323	17	14,468	1451	68923
1	5,393	573	174495	18	15,353	1534	65201
2	5,748	609	164332	19	16,288	1622	61654
3	6,123	646	154842	20	17,314	1718	58224
4	6,523	686	145886	21	18,317	1811	55206
5	6,947	727	137488	22	19,417	1914	52260
6	7,396	772	129587	23	20,577	2021	49487
7	7,871	818	122241	24	21,805	2133	46877
8	8,575	867	115305	25	23,090	2252	44411
9	8,909	919	108790	26	24,452	2376	42084
10	9,475	974	102670	27	25,881	2507	39895
11	10,074	0,00001032	99202	28	27,390	2643	37838
12	10,707	1092	91564	29	29,045	2794	35796

Fortsetzung der ersten Tabelle.

Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.
30	30,643	0,00002938	34041	66	191,270	0,00016356	6114
31	32,410	3097	32291	67	200,180	17060	5860
32	34,261	3263	30650	68	209,440	17797	5619
33	36,188	3435	29112	69	219,060	18566	5386
34	38,254	3619	27636	70	229,070	19355	5167
35	40,404	3809	26253	71	239,450	20174	4957
36	42,743	4017	24897	72	250,230	21013	4795
37	45,038	4219	23704	73	261,430	21889	4569
38	47,579	4442	22513	74	273,030	22794	4387
39	50,147	4666	21429	75	285,070	23789	4204
40	52,998	4916	20343	76	297,570	24702	4048
41	55,772	5156	19396	77	310,490	25699	3891
42	58,792	5418	18459	78	323,890	26739	3741
43	61,958	5691	17572	79	337,760	27789	3599
44	65,627	6023	16805	80	352,080	28889	3462
45	68,751	6274	15938	81	367,000	30025	3331
46	72,393	6585	15185	82	382,380	31195	3206
47	76,205	6910	14472	83	398,280	32399	3087
48	80,195	7242	13800	84	414,730	33637	2973
49	84,570	7602	13154	85	431,710	34916	2864
50	88,742	7970	12546	86	449,260	36237	2760
51	93,301	8354	11971	87	467,380	37590	2660
52	98,075	8753	11424	88	486,090	38984	2565
53	103,060	9174	10901	89	505,380	40417	2474
54	108,270	9606	10410	90	525,280	41891	2387
55	113,710	0,00010054	9946	91	545,800	43405	2304
56	119,390	10525	9501	92	566,950	44956	2224
57	125,310	11011	9082	93	588,740	46556	2148
58	131,500	11523	8680	94	611,180	48201	2075
59	137,940	12044	8303	95	634,270	49886	2005
60	144,660	12599	7937	96	658,050	51613	1938
61	151,700	13179	7594	97	682,590	53388	1873
62	158,960	13760	7267	98	707,630	55191	1812
63	166,560	14374	6957	99	733,460	57055	1751
64	174,470	15010	6662	100	760,000	58955	1696
65	182,710	15668	6382				

Zweite Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Wassers bei 0^0 gleich 1 gesetzt von 1 bis 50 Atmosphären.

Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.
100	1	0,0005895	1696	193,7	13	0,006107	163,74
112,2	1½	0,0008563	1167,8	197,2	14	0,006527	153,10
121,4	2	0,0011147	897,09	200,5	15	0,006944	144,00
128,8	2½	0,0013673	731,39	203,6	16	0,007359	135,90
135,1	3	0,0016150	619,19	206,6	17	0,007769	128,71
140,6	3½	0,0018589	537,96	209,4	18	0,008178	122,28
145,4	4	0,0020997	476,26	212,1	19	0,008583	116,51
149,1	4½	0,0023410	427,18	214,7	20	0,008986	111,28
153,1	5	0,0025763	388,16	217,2	21	0,009387	106,53
156,8	5½	0,0028091	355,99	219,6	22	0,009785	102,19
160,2	6	0,0030402	328,93	221,9	23	0,010182	98,21
163,5	6½	0,0032683	305,98	224,2	24	0,010575	94,56
166,5	7	0,0034911	286,12	226,3	25	0,010968	91,17
169,4	7½	0,0037217	268,82	236,2	30	0,012903	77,50
172,1	8	0,0039434	253,59	244,8	35	0,014663	68,20
177,1	9	0,0043865	227,98	252,5	40	0,016644	60,08
181,6	10	0,0048226	207,36	259,5	45	0,018497	54,06
186,0	11	0,0052557	190,27	265,9	50	0,020306	49,32
190,0	12	0,0056834	175,96				

Dritte Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Wassers bei 0^0 zur Einheit genommen von 100 bis 1000 Atmosphären.

Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.
311,36	100	0,037417	26,726	462,71	600	0,17791	5,621
363,58	200	0,068635	14,570	478,45	700	0,20318	4,921
397,65	300	0,097671	10,238	492,47	800	0,2279	4,387
423,57	400	0,12534	7,978	505,16	900	0,2522	3,965
444,70	500	0,15202	6,578	516,76	1000	0,276	3,622

Bei der Berechnung dieser Tafeln wurde stillschweigend angenommen, daß die Dämpfe sich bis zum Maximum der Spannkraft vollkommen eben so verhalten wie die Gase und also auch gerade so dem Mariotte'schen Gesetze folgen.

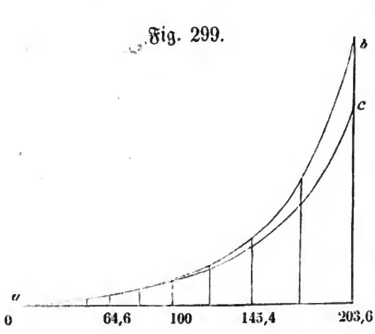
Wenn gesättigter Wasserdampf von 100°, also Wasserdampf, welcher auf die Gefäßwände einen Druck von 760mm ausübt, nicht mehr mit Wasser in Berührung ist und nun noch stärker erwärmt wird, so wird, wenn eine Vergrößerung des Volumens nicht erfolgen kann, der Druck gegen die Gefäßwände zunehmen müssen. Gesetzt, man habe die Temperatur bis auf 121,4° erhöht, so wird, wenn sich der nicht gesättigte Dampf gerade so verhält wie Luft, der Druck im Verhältniß von $1 + 100\,\alpha$ zu $1 + 121{,}4\,\alpha$ zunehmen, wo α wieder den Ausdehnungscoefficienten der Luft bedeutet; der Druck wird also seyn $760 \frac{1 + 121{,}4\,\alpha}{1 + 100\,\alpha} = 760 \frac{1{,}455}{1{,}375} = 804^{mm}$. Wenn also gesättigter Wasserdampf von 100°, ohne daß sich seine Dichtigkeit ändert, bis auf 121,4° erwärmt wird, so steigt die Spannkraft von 760mm bis auf 804mm. Nun aber ersehen wir aus der Tabelle, daß der gesättigte Dampf von 121,4° einen Druck von 2 Atmosphären, also 1520mm ausübt. Wenn aber der Wasserdampf, dessen Dichtigkeit 0,0005895 ist, bei 121,4° einen Druck von 804mm ausübt, so kann man, vorausgesetzt, daß der Wasserdampf bis zum Punkte seiner Sättigung dem Mariotte'schen Gesetze folgt, berechnen, in welchem Verhältniß man den Wasserdampf comprimiren muß, wenn es bei unveränderter Temperatur von 121,4° statt eines Druckes von 804mm einen Druck von 1520mm ausüben soll. Wenn der Druck $\frac{1520}{804}$ mal größer werden soll, so muß auch die Dichtigkeit $\frac{1520}{804}$ mal so groß werden, die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs von 121,4° ist demnach $0{,}0005895 \,.\, \frac{1520}{804}$.

Nach derselben Schlußweise ist die Formel Seite 332 construirt. Wenn der gesättigte Wasserdampf von 100°, dessen Dichtigkeit d seyn mag, auf t^0 erwärmt wird, ohne daß seine Dichtigkeit sich ändert, so wird die Spannkraft gleich $760 \frac{1 + \alpha \,.\, t}{1 + \alpha \,.\, 100}$. Wenn aber die Spannkraft nicht diese, sondern p seyn soll, so muß die Dichtigkeit im Verhältniß von $760 \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha \,.\, 100}$ zu p wachsen, die Dichtigkeit muß also werden

$$d \,.\, \frac{p}{760} \cdot \frac{1 + \alpha t}{1 + 100\,\alpha} = d \,.\, \frac{p}{760} \cdot \frac{1 + 100\,\alpha}{1 + \alpha t}.$$

Wie wir gesehen haben, stellt die obere der beiden Kurven in Fig. 299 das Gesetz dar, nach welchem die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs mit der Temperatur steigt; eben so stellt die untere Kurve das Gesetz dar, welches zwischen der Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs und der Temperatur Statt findet. Die im Abscissenpunkt 100 errichtete Ordinate gehört beiden Kurven gemeinschaftlich an, für die obere Kurve repräsentirt sie den Druck einer Atmosphäre, für die untere die Dichtigkeit 0,0005895. Man sieht, daß bei wachsender Temperatur die Dichtigkeit minder rasch wächst als die Spannkraft. Es ist dies natürlich, weil ja die vermehrte Dichtigkeit nicht die einzige Ursache der vermehrten Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs bei höherer Temperatur ist.

Fig. 299.

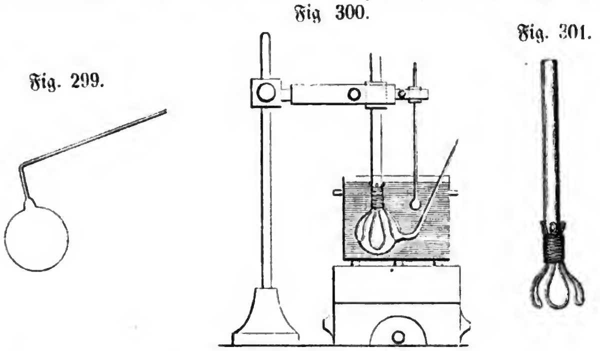


Aus der Betrachtung obiger Tafeln und der Fig. 299 sieht man, wie rasch bei steigender Temperatur die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs steigt; bei fortwährender Temperaturerhöhung muß man also zu einem Punkte kommen, wo die Dichtigkeit des Dampfes fast so groß ist wie die des Wassers. Dies ist auch durch die merkwürdigen Versuche von Cagniard de La Tour bestätigt worden. Eine sehr starke Glasröhre wurde bis zu 1/4 ihres Inhalts mit Wasser gefüllt und, nachdem alle Luft ausgetrieben war, zugeschmolzen. Wenn nun solche Röhren einer immer steigenden Temperatur ausgesetzt wurden, so schien zuletzt alles Wasser verschwunden, die Röhre schien leer zu seyn. Sobald die Temperatur etwas sank, erschien die Flüssigkeit wieder. Auf diese Weise könnte man das Wasser abwechselnd verschwinden und wieder erscheinen machen, wenn man nicht bei der Wiederholung des Versuchs gefährliche Explosionen befürchten müßte.

Bei einer Temperatur, welche dem Schmelzpunkte des Zinks nahe liegt, nimmt der gesättigte Wasserdampf einen ungefähr viermal so großen Raum ein als im flüssigen Zustande; er greift dabei das Glas an und nimmt ihm durch theilweise Auflösung seiner Elemente seine Durchsichtigkeit. Dem zufolge müßte ungefähr bei der Temperatur der Rothglühhitze die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs der des Wassers selbst gleich seyn.

133 **Dichtigkeit der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten.** Der Apparat, welcher von Gay-Lussac zur Bestimmung der Dichtigkeit der Wasserdämpfe angewendet wurde, ist auch noch für einige andre Flüssigkeiten an-

wendbar, er kann jedoch nicht in allen Fällen gebraucht werden. Ein andres Verfahren hat Dumas angegeben, es wird in chemischen Laboratorien fast durchgängig angewandt, um die Dichtigkeit von Dämpfen zu bestimmen. In einen Ballon, welcher in eine feine Spitze ausgezogen ist (Fig. 299), bringt man eine hinreichende Menge der zu untersuchenden Flüs-


Fig. 299. Fig 300. Fig. 301.

sigkeit. Der Ballon wird nun, je nachdem der Siedepunkt der Flüssigkeit höher oder tiefer liegt, in einem Bade von Wasser, Oel oder Chlorzink erhitzt. Der Ballon wird an einem Fig. 301 abgebildeten Halter befestigt und durch diesen im Bade Fig. 300 festgehalten. Durch Erhitzung des Bades bringt man die Flüssigkeit bald in's Kochen, die Dämpfe strömen mit Gewalt aus der feinen Spitze hervor. Man erhält das Bad unterdessen auf einer Temperatur, welche die des Siedepunkts der Flüssigkeit im Ballon ungefähr um 30^0 übersteigt. Die Temperatur des Bades wird an einem Thermometer abgelesen, welches auf die Fig. 301 dargestellte Weise befestigt ist. Sobald alle Flüssigkeit verdampft ist, was man daran sieht, daß das Ausströmen des Dampfes aus der feinen Spitze aufhört, schmilzt man diese vor dem Löthrohre zu. In dem Augenblicke des Zuschmelzens notirt man sich den Stand des Thermometers im Bade und den Barometerstand.

Der nun mit Dampf gefüllte Ballon wird gewogen, nachdem man früher schon denselben, mit trockner Luft gefüllt, gewogen hatte. Die Differenz dieser beiden Wägungen, die wir mit P bezeichnen wollen, giebt an, wie viel der im Ballon enthaltene Dampf mehr wiegt als die trockne Luft, die ihn vorher füllte. Das Gewicht dieser Luftmenge aber kann man berechnen, wenn man das Volumen V des Ballons kennt. Es ist nämlich Vn, wenn n das Gewicht von 1 Kubikcentimeter trockner Luft für die Temperatur und den Barometerstand bezeichnet, bei welchen die erste Wägung vorgenommen wurde, V aber in Kub.-Cent. ausgedrückt ist. Das Gewicht des Dampfes im Ballon ist demnach $P + Vn$.

Um aber die Dichtigkeit des Dampfes zu erhalten, muß man sein absolutes Gewicht durch das Gewicht eines gleichen Volumens Luft von gleicher Temperatur und gleicher Tension dividiren. Bezeichnen wir mit n' das Gewicht von 1 Kub.-Cent. trockner Luft für die Temperatur und den Barometerstand, welche man im Augenblicke des Zuschmelzens der Spitze ablas, so ist Vn' das Gewicht einer Luftmenge von dem Volumen, der Temperatur und der Tension, welche der Dampf im Ballon in dem Augenblicke hatte, in welchem die Spitze zugeschmolzen wurde. Das specifische Gewicht des Dampfes ist demnach

$$s = \frac{P + Vn}{Vn'}$$

wenn das der Luft gleich 1 gesetzt wird.

Um das Volumen des Ballons zu bestimmen, taucht man die zugeschmolzene Spitze des Ballons in Wasser oder Quecksilber und bricht sie dann ab. Da sich die Dämpfe während des Erkaltens verdichtet haben, so ist im Ballon ein Vacuum entstanden, er wird sich also mit Wasser oder Quecksilber füllen. Die Menge der Flüssigkeit, welche der Ballon faßt, kann man durch Wägung oder durch Messung in graduirten Röhren, und somit auch das Volumen des Ballons ermitteln.

Die folgende Tabelle enthält die Dichtigkeit einiger Dämpfe.

Dampf von	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. einem Druck von 760mm in Grammen.	Namen der Beobachter.
Zinnchlorid . . .	9,200	11,051	Dumas.
Jod	8,716	10,323	»
Titanchlorid . . .	6,856	8,881	»
Quecksilber . . .	6,976	9,062	»
Arsenikchlorür . .	6,301	8,185	»
Chlorkiesel . . .	5,939	7,715	»
Jodwasserstoffäther .	5,475	7,112	Gay-Lussac.
Terpentinöl . . .	5,013	6,512	»
Phosphorchlorür . .	4,875	6,353	Dumas.
Arsenikwasserstoff .	2,695	3,502	»
Schwefelkohlenstoff .	2,645	3,436	Gay-Lussac.
Schwefeläther . .	2,586	3,395	»
Salzsäureäther . .	2,219	2,883	Thénard.
Alkohol	1,613	2,096	Gay-Lussac.
Blausäure	0,948	1,231	»
Wasser	0,623	0,810	»

In Beziehung auf die dritte Columne dieser Tafel ist noch eine Erläuterung nöthig. Sie führt die Ueberschrift »Gewicht von 1 Liter bei 0° und einem Druck von 760mm in Grammen«. Diese Ueberschrift enthält aber einen Widerspruch, denn da der Siedepunkt aller dieser Flüssigkeiten über 0° liegt, so kann die Spannkraft aller dieser Dämpfe bei 0° gar nicht 760mm betragen. Diese Columne ist aber so zu verstehen, daß sie das Gewicht von 1 Liter angiebt, wie es seyn würde, wenn man den gesättigten Dampf von 760° Spannkraft ohne Veränderung des Druckes auf 0° erkalten könnte, ohne daß ein Theil der Dämpfe sich als Flüssigkeit ausscheidet, kurz wenn der Dampf bei dieser Erkaltung auf 0° sich gerade wie ein permanentes Gas verhielt.

Die Dichtigkeit der gesättigten Dämpfe aller Flüssigkeiten wächst mit der Temperatur. Es folgt daraus, daß bei hinlänglich gesteigerter Temperatur eine jede Flüssigkeit in einem Raume verdampfe, welcher kaum größer ist als der, welchen die Flüssigkeit zuvor selbst einnahm. Cagniard de La Tour hat in dieser Beziehung Versuche mit Weingeist, Aether und Schwefelkohlenstoff gemacht. Der Apparat, dessen er sich zu diesen Versuchen bediente, ist der Fig. 303 abgebildete. Der längere Schenkel sowohl wie der kürzere waren oben zugeschmolzen. Im längern befand sich über dem Quecksilber trockne Luft, im kürzeren die Flüssigkeit. Der Durchmesser des längern Schenkels betrug nur 1mm, der des kürzern 5mm. Die Glaswände waren sehr dick, so daß sie einen starken Druck aushalten konnten. Die Spannkraft der Dämpfe, welche sich bei der Erwärmung im kürzeren Schenkel bildeten, wurde durch die Differenz der Quecksilberkuppen und die Compression der Luft im längern Schenkel bestimmt. Beim Versuche wurde der untere Theil des Apparates in ein Oelbad gesenkt.

Fig. 302.

Das völlige Verschwinden der Flüssigkeit erfolgte unter folgenden Umständen.

	Temperatur des Verschwindens.	Volumen des Dampfs im Vergleich zu dem der Flüssigkeit.	Spannkraft der Dämpfe in Atmosphären.
Alkohol	259	3	119
Aether	200	2	37
Schwefelkohlenstoff . .	275	2	78

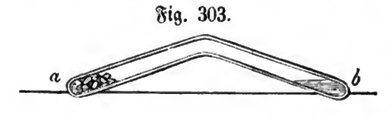
Diese Versuche beweisen unwiderleglich, daß die Dämpfe bei einer starken Verdichtung nicht mehr dem Mariotte'schen Gesetze folgen, wie wir dies bei der Berechnung der Tabellen auf S. 333 u. 334 angenommen hatten. Aus der Tabelle auf Seite 338 sehen wir, daß 1 Liter Aetherdampf bei einer Tension von einer Atmosphäre 3,39 Gramm wiegt. Nach den Versuchen von Cagniard de La Tour hat der gesättigte Aetherdampf bei 200° eine Tension von 37 Atmosphären; wenn also der Aetherdampf stets dem Mariotte'schen Gesetze folgte, so dürfte bei dieser Temperatur seine Dichtigkeit nicht ganz bis auf das 37fache gestiegen seyn; 1 Liter Aetherdampf von einer Spannkraft von 37 Atmosphären könnte demnach nicht mehr als $37 \times 3{,}39$, also nicht mehr als 125 Gramm wiegen. Wir sehen aber, daß der gesättigte Aetherdampf von 200° halb so dicht ist als der Aether selbst, 1 Liter dieses Dampfes wiegt also 358 Gramm, da 1 Liter Aether 715,5 Gramm wiegt. Die Dichtigkeit ist also fast dreimal so groß, als man hätte erwarten sollen. Aetherdampf von der bei 200° beobachteten Dichtigkeit müßte nach dem Mariotte'schen Gesetze eine Spannkraft von 3×37 Atmosphären haben.

Wenn man auch zugiebt, daß die Versuche von Cagniard de La Tour nicht ganz genau sind, so sind doch diese Differenzen so außerordentlich groß, daß man sie unmöglich Beobachtungsfehlern zuschreiben kann.

134 **Condensation der Dämpfe und Flüssigmachen der Gase.** Die Dämpfe verdichten sich durch Druck und Erkaltung. Nur dann kann ein Dampf comprimirt oder erkaltet werden, ohne daß er sich theilweise in Flüssigkeit verwandelt, wenn er nicht gesättigt ist. Man hat schon lange vermuthet, daß die sogenannten permanenten Gase sich nur dadurch von den Dämpfen unterscheiden, daß sie noch weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt sind. Es ist zuerst H. Davy und Faraday gelungen, solche Gase zu condensiren, welche man bis dahin für permanent gehalten hatte. Das Verfahren, dessen sie sich bedienten, bestand darin, die Gase in einer gebogenen starken vollkommen verschlossenen Glasröhre zu entwickeln. Die Gase condensiren sich dann durch ihren eignen Druck. Ein Beispiel wird dies klar machen.

Man fülle in eine starke Glasröhre etwas Cyanquecksilber, schmelze die Röhre zu und biege sie, wie Fig. 303 zeigt. Wenn man nun das Ende *a* dieser Röhre, wo sich das Cyanquecksilber befindet, mittelst einer Spirituslampe vorsichtig erwärmt, so bildet sich Cyangas, welches sich bei *b* verdichtet, wenn man dieses Ende der Röhre in eine Kältemischung taucht.

Fig. 303.



Um Schwefelwasserstoffgas zu verdichten, füllt man ein starkes Glasrohr ungefähr bis auf $1/3$ seines Inhalts mit Wasserstoffschwefel, einer gelblichen ölartigen Flüssigkeit, und schmilzt es dann vor dem Löthrohre zu. Die Flüssigkeit zersetzt sich nach und nach von selbst in Schwefel, welcher in schönen durchsichtigen Krystallen sich ausscheidet, und Schwefelwasserstoffgas, welches, weil es nicht entweichen kann, durch seinen eigenen Druck condensirt wird und als eine klare wasserhelle Flüssigkeit über den Schwefelkrystallen schwimmt.

Auch schweflige Säure, Chlor, Ammoniak, Salzsäure, Kohlensäure, salpetrige Säure hat man durch ähnliche Verfahrungsarten flüssig gemacht. Alle andern Gase hat man bisher vergebens zu condensiren versucht, es ist jedoch zu erwarten, daß auch sie fähig sind flüssig zu werden, wenn man es nur dahin bringen kann, eine hinreichende Temperaturerniedrigung und einen hinreichenden Druck zu erzeugen.

Nach den Versuchen von Thilorier hat der Dampf der flüssigen Kohlensäure bei 0^0 eine Spannkraft von 36, bei 30^0 aber schon eine Spannkraft von 73 Atmosphären.

Thilorier hat zuerst einen Apparat construirt um eine ziemlich bedeutende Menge Kohlensäure zu condensiren; die Anwendung desselben ist aber gefährlich, indem er nicht die nöthigen Garantieen gegen Explosionen bietet; und in der That sind schon mehrere Unglücke durch Platzen des Thilorier'schen Apparates entstanden. Natterer in Wien hat aber nun einen sehr zweckmäßigen, ganz sichern Apparat zur Verdichtung der Kohlensäure, welcher in Fig. 304 (auf folgender Seite) abgebildet ist, construirt; l ist ein Rohr, welches dem zur Ladung einer Windbüchse dienenden Rohre der Fig. 180 auf S. 151 Bd. I. entspricht. Während das Rohr, Fig. 180, zwei Oeffnungen hat, welche das Innere des Rohrs mit der äußeren Luft verbinden, ist hier unten nur eine Oeffnung, an welche sich ein Schlauch s ansetzt, der zu einem mit Kohlensäure gefüllten Gasometer führt. In unserer Figur ist nun dieser Schlauch, aber nicht das Gasometer dargestellt. Man kann ein Gasometer von der Form Fig. 275 Bd. I., oder auch ein solches anwenden, welches nach dem Princip der Fig. 276 construirt ist, d. h. ein solches, welches aus einem Wasserreservoir von Blech besteht, in welches ein unten offenes, oben geschlossenes Gefäß herabhängt; durch eine Röhre wird das Glas zu-, durch eine andere wird es abgeführt. Es versteht sich von selbst, daß zwischen das Gasometer und den Verdichtungsapparat eine Chlorcaliumröhre eingeschaltet werden muß, damit das Gas von Wasserdampf befreit wird.

Oben ist an den Lauf l eine starke Flasche r von Schmiedeeisen aufgegeschraubt, welche dem Windbüchsenkolben, Fig. 180, entspricht und auch ähnlich eingerichtet ist; da wo sie auf die Röhre aufgeschraubt wird, befin-

det sich nämlich ein Ventil, welches sich nach innen öffnet und nach außen schließt. Der obere Theil diese Flasche, welche auf 150 Atmosphären Druck geprüft ist, ist in Fig. 305 in größerem Maaßstab dargestellt. Oben ist

Fig. 304.

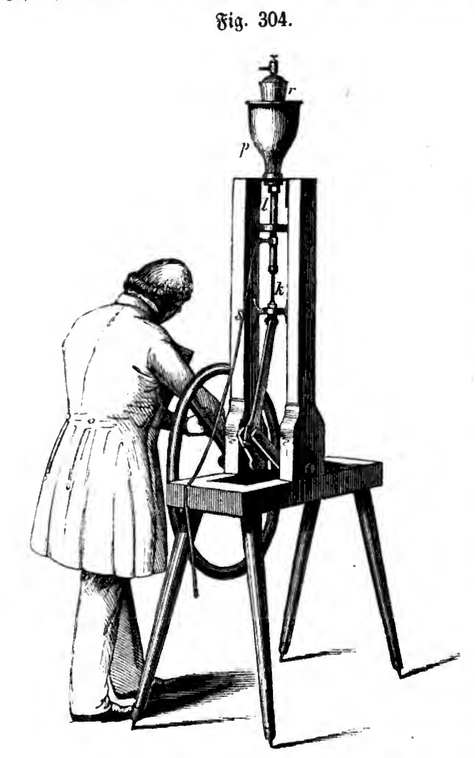


Fig. 305



ein eiserner Aufsatz g angesetzt, in welchen eine horizontale messingene Röhre n mit feiner Oeffnung mündet. g ist in der Mitte durchbohrt, so daß, wenn man die Schraube t bis zu einer gewissen Gränze in die Höhe schraubt, das Gas aus der Flasche durch g und das Rohr n ausströmen kann; wenn aber t heruntergeschraubt wird, so ist die Ausflußöffnung verschlossen. Der untere Theil der Flasche r ist, wie man Fig. 304 sieht, mit einem Kupfergefäß p umgeben, welches mit Eisstücken und Salz gefüllt wird, um die gehörige Abkühlung zu bewirken.

Das Einpumpen des Gases in die Flasche geschieht mit Hülfe einer Kurbel und eines Schwungrades. Die Kolbenstange k ist unten an einem messingenen Querstücke befestigt, welches in Coulissen läuft, die auf beiden Seiten am Gestell angebracht sind und wodurch die vertikale Bewegung der Kolbenstange gesichert ist. Die Art der Bewegung und die Fortpflanzung der Bewegung ist aus der Figur ersichtlich.

Vor dem Beginn des Versuchs wird das Gewicht des Recipienten bestimmt. Nachdem er aufgeschraubt ist, werden 20 bis 30 Umdrehungen gemacht,

worauf man das Gas mit der im Recipienten befindlichen atmosphärischen Luft durch den geöffneten Hahn entweichen läßt; hierauf wird der Hahn wieder geschlossen, und nun beginnt eigentlich erst das Comprimiren. So oft man 2 bis 3 Kubikfuß Kohlensäure eingepumpt hat, wird der Recipient wieder gewogen und die Operation so lange fortgesetzt, bis die Gewichtszunahme des Recipienten ungefähr 450 Gramm beträgt, wo dann ungefähr $^2/_3$ des Recipienten mit flüssiger Kohlensäure gefüllt sind.

Man kann in diesem Apparat die Kohlensäure im flüssigen Zustande nicht sehen; wie sie aber in feste Kohlensäure verwandelt wird, ist weiter unten gezeigt.

Auch Stickstoffoxydulgas läßt sich in diesem Apparate verdichten.

Die Ausdehnung der flüssigen Kohlensäure bietet eine merkwürdige Erscheinung dar, sie ist nämlich 4mal so groß als die der Luft; während sich die Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 30° um 0,109 ihres Volumens ausdehnt, dehnt sich die flüssige Kohlensäure unter gleichen Umständen um 0,423 ihres Volumens aus. Es folgt daraus, daß das specifische Gewicht der flüssigen Kohlensäure bei verschiedenen Temperaturen sehr ungleich sey, es ist

bei — 20°	0,90
0°	0,83
+ 30°	0,60,

die Dichtigkeit des Wassers gleich 1 gesetzt.

Drittes Kapitel.

Von der Mischung der Dämpfe mit Gasen.

135 Flüssigkeiten, welche sich nicht chemisch mit einander verbinden, können wohl auf einige Augenblicke gemengt seyn; bald aber trennen sie sich, sie lagern sich nach der Ordnung ihrer Dichtigkeit über einander, wie z. B. das Oel auf dem Wasser schwimmt. Wenn sich die Gase und Dämpfe ähnlich verhielten, so würde sich auf unserer Erdoberfläche Alles ändern müssen; die Dämpfe z. B., welche sich auf der Oberfläche der Gewässer bilden, würden ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen aufsteigen und so bis zu den äußersten Grenzen der Atmosphäre getrieben werden. Bei der immer fortdauernden Verdunstung würden zuletzt alle Seen und Meere austrocknen, und alles Wasser der Erde würde als Wasserdampf über der Atmosphäre schweben.

Man sieht also, daß die gasförmigen Körper bei ihrer Mischung nicht

denselben Gesetzen folgen können wie die Flüssigkeiten, daß sie sich nämlich nicht nach ihrem specifischen Gewichte schichten.

Diese Fundamentalwahrheit ist durch einen directen Versuch außer Zweifel gesetzt worden. **Berthollet** verband zwei Ballons, von denen der eine mit Wasserstoffgas, der andere mit Kohlensäuregas gefüllt war, durch eine Röhre, die mittelst eines Hahns gesperrt werden konnte. Nachdem der Apparat so aufgestellt war, daß der mit dem leichteren Wasserstoffgas gefüllte Ballon über dem andern stand, wurde der Hahn geöffnet. Nach einiger Zeit hatte sich die Hälfte des Wasserstoffgases trotz seiner Leichtigkeit in dem untern Ballon verbreitet, während die Hälfte des Kohlensäuregases in den obern Ballon hinaufgestiegen war.

Fig. 306.

Man kann den Versuch am einfachsten anstellen, wenn man zwei Glasgefäße, von denen das eine *a* mit Wasserstoffgas, das andere *e* mit Kohlensäure gefüllt ist, auf die Weise verbindet, wie man Fig. 306 sieht. Nach einiger Zeit findet man die Gase auf die angegebene Weise gemischt. Jedes Gas verbreitet sich also gleichförmig in dem ganzen Raume gerade so, als ob das andere gar nicht da wäre.

Was für die Mischung zweier Gase gilt, gilt auch für mehrere. Das allgemeine Princip, nach welchem die Mischung gasförmiger Körper vor sich geht, ist folgendes: **Wenn man in einen und denselben Raum verschiedene Gase bringt, welche keine chemische Wirkung auf einander ausüben, so verbreitet sich jedes gleichförmig durch den ganzen Raum; die Spannkraft des Gasgemenges aber ist gleich der Summe der Spannkräfte, welche jedes einzelne Gas haben würde, wenn es für sich allein den ganzen Raum ausfüllte.**

136 Dämpfe verhalten sich in dieser Beziehung vollkommen ebenso wie Gase; und wenn in einen mit Gas gefüllten Raum eine Flüssigkeit gebracht wird, so bilden sich in diesem Raume gerade ebenso viel Dämpfe, als ob der Raum vollkommen leer wäre; die Spannkraft ist also die Summe der Spannkraft des Gases und der Spannkraft des gesättigten Dampfes. Ein Beispiel mag dies deutlicher machen. Gesetzt, man brächte etwas Wasser in einen Raum von 1700 Kub.-Cent., der schon Luft von 100^0 und einer Tension von 760^{mm} enthält, so wird in diesem Raume 1 Gramm Wasser verdampfen, also gerade so viel, als ob der Raum vollkommen luftleer gewesen wäre. Die Spannkraft dieses Gemenges von Luft und Wasserdampf aber ist die Summe der Spannkraft der Luft, 760^{mm} und der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs von 100^0, welche ebenso groß ist, sie ist also gleich dem Drucke von zwei Atmosphären.

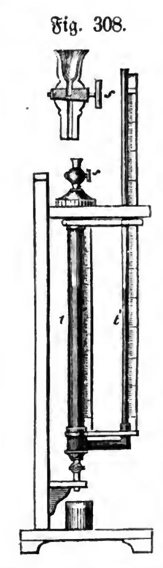


Fig. 307.

Es läßt sich dies durch den Versuch auf folgende Art nachweisen. Man fülle eine toricellische Röhre auf dieselbe Weise, wie dies Bd. I. S. 132 angegeben ist, und tauche sie ebenso in das Quecksilber des Gefäßes *c n*, als ob man den dort beschriebenen Versuch anstellen wollte. Gesetzt, man habe beim Füllen der Röhre 5^{cm} frei gelassen; nachdem man die Röhre umgekehrt und den Finger weggezogen hat, habe sich die Luft auf einen 5fachen Raum ausgedehnt, so daß die Luft im obern Theile der Röhre eine Länge von 25^{cm} einnimmt, so wird ihre Tension $1/5$ des Barometerstandes, also 152^{mm} seyn, wenn der Barometerstand 760^{mm} ist; die Höhe der Quecksilbersäule im toricellischen Rohre muß demnach noch eine Höhe von 608^{mm} haben. Nun bringe man auf die, Seite 315 angegebene Weise etwas Schwefeläther in den oberen Theil der Röhre, so sinkt die Quecksilbersäule noch tiefer. Durch Niederdrücken der ganzen Röhre kann man es nun leicht dahin bringen, daß der obere, nicht mit Quecksilber angefüllte Raum der Röhre wieder gerade so groß ist als vor dem Eindringen des Aethers, daß er also für unsern Fall wieder 25^{cm} beträgt. Nun ist die Luft noch in demselben Raume verbreitet wie vorher, allein in diesem Raume befindet sich jetzt außer der Luft noch Aetherdampf, und zwar gerade so viel, als ob gar keine Luft da wäre. Die Spannkraft des Gemenges von Luft- und Aetherdampf muß also gleich seyn der Summe der Spannkraft der schon vorher vorhandenen Luft, für unsern Fall 152^{mm} + der Spannkraft des gesättigten Aetherdampfs für die herrschende Temperatur. Diese Temperatur sey 15^0. Die Tension des gesättigten Aetherdampfs für 15^0 ist 330^{mm}; die Summe der Spannkräfte der Luft und des Aetherdampfs ist also $152 + 330 = 482^{mm}$. Die Depression der Quecksilbersäule muß demnach 482^{mm} betragen, die Höhe der Quecksilberkuppe über dem Niveau in *c n* muß demnach noch $760 - 482 = 278^{mm}$ seyn, was der Versuch auch vollkommen bestätigt.

Diese Art des Versuchs ist jedoch nur für Luft von geringer Tension beweisend; daß sich aber auch in einem Raume, welcher mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit gefüllt ist, vollkommen ebenso viel Dampf bildet, als ob der Raum leer wäre, läßt sich mit dem Apparate Fig. 308 zeigen. *t* ist eine weite graduirte Glasröhre, welche oben und unten mit einem eisernen Hahn versehen ist. Der obere Hahn *s* ist nicht ganz durchgebohrt, sondern er enthält nur eine Höhlung, wie beistehende Figur zeigt.

Fig. 308.



Am untern Ende ist die Röhre *t* mit einer engeren und längeren *t'* verbunden. Man kann den oberen Hahn abschrauben, um einen Strom trockner Luft durch den Apparat streichen zu lassen. Ist dies geschehen, so gießt man Quecksilber in den offenen Schenkel *t'* ein und schraubt den Hahn *s* wieder auf. Die in der Röhre *t* abgesperrte Luft steht nun genau unter dem Drucke einer Atmosphäre, weil die Quecksilberspiegel in beiden Röhren in gleicher Höhe liegen. Nun wird eine Flüssigkeit, etwa Weingeist, in den Hahn *s* gegossen, und man dreht ihn immer nach derselben Richtung um. Bei jeder Umdrehung wird ein Tropfen der Flüssigkeit in die Röhre *t* gebracht.. Alsbald bilden sich Dämpfe, das Quecksilber in *t* sinkt und steigt dagegen in *t'*. Die Dämpfe bilden sich freilich langsamer als im leeren Raume; nach kurzer Zeit aber haben sie das Maximum der Spannkraft erreicht, welches dem Maximum der Spannkraft gleich ist, dessen die Dämpfe im leeren Raume bei derselben Temperatur fähig sind. In der That, wenn man von neuem Quecksilber in den offenen Schenkel *t'* gießt, so kann man es leicht dahin bringen, daß das Gemisch von Gas und Dampf denselben Raum einnimmt, den vorher die Luft allein einnahm. Nun aber steht das Quecksilber in der Röhre *t'* höher, und man findet, daß die Höhe der Quecksilbersäule in *t'* über dem Niveau in *t* genau der Spannkraft des gesättigten Dampfes für die herrschende Temperatur gleich ist. In dem mit Luft gefüllten Raume hat sich also gerade eben so viel Dampf gebildet, als sich bei gleicher Temperatur in einem eben so großen, aber absolut leeren Raume hätte bilden können.

Dasselbe bleibt auch noch wahr, wenn man das Gemenge von Luft und Gas einem noch stärkern Drucke aussetzt, indem man neue Mengen Quecksilber in den längern Schenkel eingießt; oder wenn der Druck geringer wird, was man dadurch bewerkstelligen kann, daß man den untern Hahn öffnet, um etwas Quecksilber austreten zu lassen. In allen Fällen sieht man, wenn man die Veränderungen, welche das Volumen der Luft erleidet, gehörig in Rechnung bringt, daß die Spannkraft des Gemenges der Summe der Spannkräfte der Luft und des Dampfes gleich ist.

Der Dampf, welcher mit einem andern Gase gemengt ist, kann gerade so wie der Dampf, welcher für sich allein in einem sonst leeren Raume besteht, durch zwei Ursachen verdichtet werden, nämlich durch einen vermehrten Druck und durch Erniedrigung der Temperatur. Unsere atmosphärische Luft enthält immer Wasserdampf. Denken wir uns ein Liter

solcher Luft bei einer Temperatur von 20°, welche so viel Wasserdampf enthält, daß er für sich allein eine Tension von 10mm ausübt, oder, was dasselbe ist, nehmen wir an, daß in diesem Liter Luft 0,00974 Gr. Wasserdampf enthalten seyen, so ist der Raum noch nicht mit Wasserdampf gesättigt, denn nach der Tabelle Seite 332 ist die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs von 20° = 0,0000172; in dem Liter Luft könnten also bei dieser Temperatur 0,0172 Gr. Wasserdampf vorhanden seyn. Wenn man aber dies Gemenge von Luft und Gas comprimirt, so wird die Tension des Wasserdampfes eben so gut wie die der Luft vermehrt, sie wird für beide in gleichem Verhältniß zunehmen, bis der Wasserdampf sein Maximum der Spannkraft erreicht hat. Wenn man noch weiter comprimirt, so condensirt sich ein Theil des Dampfes und setzt sich in Form von Thau an den Gefäßwänden ab. Hätte man dasselbe Liter Luft nicht conprimirt, aber erkaltet, so würde sich der Dampf ebenfalls verdichtet haben, und zwar würde der feuchte Niederschlag in unserm Beispiele bei einer Temperatur von 11° erfolgt seyn.

Indem man diese Folgerungen allgemein macht, sieht man, daß in einem gegebenen Raume, einem Liter z. B., eine beliebige Anzahl gasförmiger Körper eingeschlossen werden kann, von denen sich jeder gleichförmig im ganzen Raume verbreitet; der Drucke, den sie ausüben, ist aber stets der Summe der Spannkräfte gleich, welche jedes der Gase für sich allein ausüben würde, wenn die andern Gase gar nicht in dem Raume vorhanden wären.

137 Die Verwandlung der Flüssigkeiten in gasförmige Körper nennt man im Allgemeinen **Verdampfung**. Die Flüssigkeiten verdampfen entweder durch das Kochen, wenn sich durch die ganze Masse der Flüssigkeit Dämpfe bilden, oder durch **Verdunsten**, wenn die Dampfbildung bloß an der Oberfläche vor sich geht.

Wenn man das Kochen einer Flüssigkeit beobachtet, sieht man in der Regel nur eine mehr oder minder heftige Bewegung aller Theilchen, wenn man aber die Flüssigkeit in einem gläsernen Gefäße kochen läßt, so sieht man die Dampfblasen, welche sich an den wärmeren Gefäßwänden bilden und in die Höhe steigen. Anfangs klein nehmen sie an Volumen zu, je mehr sie steigen. An den heißesten Stellen der Wand folgen die Blasen am schnellsten auf einander. Damit sich die Blasen in der Flüssigkeit bilden können, welche doch von allen Seiten einen Druck auf sie ausübt, muß der Dampf, welcher die Blasen bildet, offenbar eine Spannkraft haben, welche dem Drucke der Umgebung das Gleichgewicht hält. Die erste Bedingung des Kochens ist also, daß die Temperatur hoch genug ist, daß die Spannkraft der Dämpfe den von allen Seiten auf die zu bildenden Dampfblasen wirkenden Druck aushalten kann. Eine zweite Bedingung ist die, daß

genug Wärme vorhanden sey, welche bei der Dampfbildung als latente Wärme absorbirt wird.

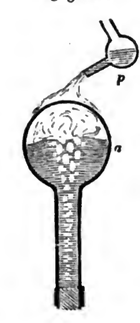
Aus der ersten Bedingung folgt, daß der Siedepunkt einer Flüssigkeit mit dem auf ihr lastenden Drucke variirt, aus der zweiten aber, daß die Schnelligkeit des Kochens von der Wärmemenge abhängt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Wände hindurch der Flüssigkeit zugeführt wird.

Am Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760^{mm} kocht das reine Wasser bei 100^0; auf dem Gipfel des Montblanc, in einer Höhe von 4775 Metern, wo der Druck der Atmosphäre nur noch 417^{mm} beträgt, kocht das Wasser schon bei einer Temperatur, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfs 417^{mm} beträgt, d. h. ungefähr bei 84^0. In noch größerer Höhe würde das Wasser bei noch niedrigerer Temperatur sieden. Wenn man die Tafel für die Spannkraft der Dämpfe einer Flüssigkeit hat, so kann man leicht die Temperatur des Siedepunktes bei gegebenem Drucke finden, denn es ist derjenige Temperaturgrad, für welchen die Spannkraft des gesättigten Dampfes jenem Drucke gleich ist. Umgekehrt kann man eine Flüssigkeit bei einer gegebenen Temperatur ins Kochen bringen, wenn man nur den Druck hinlänglich vermindert.

Bei einem Drucke von 30^{mm} z. B. ist die Siedetemperatur des Wassers 30^0, weil bei dieser Temperatur die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs 30^{mm} ist. Unter einem Drucke von 10^{mm} siedet das Wasser bei 11^0, unter einem Drucke von 5^{mm} bei 0^0.

Die Wahrheit dieser Folgerungen läßt sich leicht durch den Versuch nachweisen. Man bringt Wasser von 30^0 in einem Glasgefäße unter den Recipienten der Luftpumpe. Nach einigen Kolbenzügen zeigt die Barometerprobe nur noch einen Druck von 30^{mm}, und nun beginnt das Kochen mit Heftigkeit gerade so, als ob das Wasser an freier Luft über einem lebhaften Feuer stände. Dieses Sieden hört aber bald auf, weil der Dampf den Recipienten erfüllt und selbst auf die Flüssigkeit drückt, ein neuer Kolbenzug aber nimmt diesen Dampf wieder weg und macht, daß das Kochen von Neuem beginnt. Mit unsern Luftpumpen ist es nicht möglich, das Wasser bei 0^0 ins Sieden zu bringen, weil man keine Verdünnung von 5^{mm} hervorbringen kann, indem sich beständig Dampf an der Oberfläche des Wassers bildet.

Fig. 309.



An dem Fig. 309 abgebildeten Apparate beobachtet man eine noch auffallendere hierher gehörige Erscheinung. Ein Ballon mit langem Halse *a* wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt; wenn durch Kochen desselben alle Luft ausgetrieben ist, verschließt man den Hals

durch einen Kork und kehrt den Ballon um, wie Fig. 309 zeigt. Wenn man ihn sich selbst überläßt, ist kein Sieden zu beobachten; wenn man aber kaltes Wasser auf den obern Theil gießt, so beginnt es auf der Stelle mit großer Heftigkeit. Das kalte Wasser bringt das Wasser im Ballon ins Kochen, weil es den Dampf im obern Theile des Ballons verdichtet und so den auf der Flüssigkeit lastenden Druck vermindert.

Die Variationen des Siedepunktes hat man auch durch directe Versuche an hochgelegenen Orten der Alpen, der Pyrenäen und anderer Gebirge bestätigt.

Das kochende Wasser ist also nicht an allen Orten der Erde gleich warm, und folglich ist es nicht überall gleich tauglich zu häuslichen Zwecken, zur Bereitung der Speisen. In Quito z. B. kocht das Wasser schon bei 90°, und diese Temperatur ist zum Kochen mancher Substanzen zu niedrig, welche eine Temperatur von 100° erfordern.

Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte des Wassers für mehrere bewohnte Orte, deren Höhe wohl bekannt ist.

Namen der Orte.	Höhe über der Meeresfläche in Metern.	Mittlere Höhe des Barometers in Millim.	Siedepunkte in Graden.
Meierei Antisana (Südamerika) .	4101	454	86,3
Mincipampa (Peru)	3618	483	87,9
Quito	2908	527	90,1
Laramaria (Peru)	2860	531	90,3
Santa Fe de Bogoda	2661	544	90,9
Cuenza (Quito)	2633	546	91,0
Mexico	2270	572	92,3
Hospiz St. Gotthard	2075	586	92,9
Dorf St. Veran (See-Alpen) .	2040	588	93,0
St. Remi	1604	621	94,5
Dorf Gavarni (Pyrenäen) . .	1444	634	95,0
Bareges (Pyrenäen).	1269	648	95,6
Palast St. Ildefonso (Spanien) .	1155	657	96,0
Bäder des Mont d'Or (Auvergne)	1040	667	96,5
Madrid	608	704	97,8
Innspruck	566	708	98
München	538	710	98,1

Namen der Orte.	Höhe über der Meeresfläche in Metern.	Mittlere Höhe des Barometers in Millim.	Siedepunkt in Graden.
Salzburg	452	718	98,4
Genf und Freiburg	372	725	98,6
Regensburg	362	726	98,7
Moskau	300	732	99,0
Turin	230	738	99,1
Prag	179	743	99,3
Lyon	162	745	99,4
Wien	133	747	99,5
Bologna	121	749	99,5
Dresden	90	752	99,6
Paris (Observatorium 1ster Stock)	65	754	99,7
Rom (Kapitol)	46	756	99,8
Berlin	40	756	99,8

Da der Barometerstand an einem und demselben Orte fortwährend schwankt, so folgt, daß der Siedepunkt in jedem Augenblicke variirt. Zu Paris sind die äußersten Grenzen des Barometerstandes, welche man in 20 Jahren beobachtet hat, 719mm und 781mm. Dem höchsten Stande von 781mm entspricht ein Siedepunkt von 100,8⁰, dem niedrigsten Barometerstande von 719mm aber ein Siedepunkt von 98,5⁰. Man begreift wohl, daß bei der Bestimmung des Siedepunktes an den Thermometerscalen der Barometerstand berücksichtigt werden muß.

Wollaston hat ein sehr empfindliches Thermometer construirt, welches nur die Temperaturgrade in der Nähe des Siedepunktes angiebt, mit Hülfe dessen man die Differenz der Siedepunkte des Wassers von einem Stockwerke eines Hauses zum andern nachweisen kann. Die Construction eines solchen Thermometers erfordert viele Sorgfalt, wesentlich aber ist, daß ein Grad der Scala wenigstens eine Länge von 30mm hat.

138 Wenn man den Druck auf die Flüssigkeit vermehrt, so wird dadurch das Kochen verzögert, und man kann es ganz verhindern, wenn man nur den Druck stark genug macht. Es ist dies der Fall bei dem unter dem Namen des Papinianischen Topfes oder des Papinianischen Digestors bekannten Apparate, Fig. 310. In demselben kann man das Wasser bis zu sehr hohen Temperaturen erwärmen, ohne daß es kocht.

Dieser Apparat besteht aus einem cylindrischen Gefäße von Eisen oder besser von Messing oder Kupfer, dessen Wände im Stande sind, einen sehr starken Druck auszuhalten. Eine Oeffnung ist durch ein Sicherheitsventil geschlossen, welches man so stark belasten kann, daß ein Druck von vierzig bis funfzig Atmosphären nöthig ist, um es zu heben. Das Kochen ist unmöglich, weil der Dampf, welcher sich über der Flüssigkeit befindet, nicht entweichen kann und deshalb einen hinlänglich starken Druck ausübt, um es zu verhindern. Sobald man aber das Ventil öffnet, strömt der Dampf mit ungeheurer Stärke hervor, gleichzeitig aber sinkt die Temperatur des Gefäßes, weil es alle die Wärme liefern muß, welche auf einmal bei der heftigen Dampfbildung gebunden wird.

Fig. 310.



Dieser Digestor wurde in der Mitte des 17ten Jahrhundert von Papin, einem in Marburg und Kassel lebenden Gelehrten, erfunden. Er diente zu einer Menge merkwürdiger Versuche, theils um die mechanische Kraft des Dampfes, theils um die auflösende Kraft des über 100⁰ erwärmten Wassers zu zeigen. Mit Erstaunen sah man die Möglichkeit, aus den Knochen eine eben so nahrhafte Substanz auszuziehen wie aus den saftigsten Muskeltheilen.

Wenn man in einem Gefäße Wasser ins Kochen bringt, aus welchem der Dampf nur durch verhältnißmäßig kleine Oeffnungen abziehen kann, so beobachtet man eine Erhöhung des Siedepunktes. Durch eine kleine Oeffnung kann nämlich nur dann aller Dampf, welcher durch die in jedem Moment in die Flüssigkeit übergehende Wärme erzeugt wird, ausströmen, wenn durch die größere Spannkraft des Dampfes eine größere Ausströmungsgeschwindigkeit möglich geworden ist.

In einer flüssigen Masse wirkt auf die Theilchen im Innern nicht allein der Druck, welcher auf der Oberfläche lastet, sondern auch noch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule. Hätte man z. B. einen 32 Fuß tiefen mit Wasser gefüllten Kessel, so würde am Boden ein Druck von 2 Atmosphären stattfinden, und hier würden sich also erst bei einer Temperatur von $121{,}4^0$ Dampfblasen bilden können. Da aber die Temperatur der flüssigen Schichten an der Oberfläche nicht über 100^0 steigen kann, so wird die Flüssigkeit vom Boden, ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen, fortwährend aufsteigen. Weil der Druck mit dem Steigen abnimmt, bilden sich Dampfblasen, ihre Temperatur nimmt aber allmälig von 121^0 bis 100^0 ab. Die Dampfblasen, welche sich in der Tiefe bilden, nehmen an Größe um so mehr zu, je höher sie steigen, weil der Druck, welcher auf sie wirkt, immer geringer wird. Diese Erscheinungen beobachtet man

selbst schon in kleinen Gefäßen, in welchen das Wasser nur einige Zoll tief ist. — Bevor das vollständige Kochen beginnt, bilden sich an dem Boden schon Dampfblasen, welche aber beim Aufsteigen sich plötzlich wieder verdichten, weil sie in Wasserschichten kommen, deren Temperatur noch zu niedrig ist. Daher rührt das eigenthümliche Geräusch, welches man einige Augenblicke vor dem vollständigen Kochen wahrnimmt. Wenn man den Versuch in einem Glaskolben anstellt, so beobachtet man, wie sich die Blasen am Boden bilden, wie sie steigen und alsbald verschwinden. Man sagt alsdann, das Wasser *singt*. Das Singen ist ein Zeichen des bald erfolgenden vollständigen Kochens.

139 **Einfluß aufgelöster Substanzen auf den Siedepunkt.** Der Siedepunkt der Flüssigkeiten erleidet durch Substanzen, welche nur mechanisch in denselben suspendirt sind, keine Veränderung; eine solche Veränderung tritt aber ein, wenn sich die Theilchen des fremden Körpers chemisch mit der Flüssigkeit verbinden. Alle löslichen Salze z. B. erhöhen die Temperatur des Siedepunkts des Wassers. Der Dampf, welcher sich aus solchen Lösungen bildet, ist gerade eben so rein, als ob er aus reinem Wasser sich gebildet hätte.

Legrand hat eine Menge interessanter Versuche über diesen Gegenstand angestellt, deren Resultate die folgende Tabelle enthält.

Tabelle
der Siedepunkte verschiedener gesättigter Lösungen.

Namen der Lösungen.	Siedepunkte.	Quantität des Salzes, welche 100 Theile Wasser sättigen.
Chlorsaures Kali	104,2	61,5
Chlorbarium	104,4	60,1
Kohlensaures Natron	104,6	48,5
Phosphorsaures Natron	106,5	113,2
Chlorkalium	108,3	59,4
Chlornatrium	108,4	41,2
Salzsaures Ammoniak	114,2	88,9
Neutrales weinsteinsaures Kali	114,67	269,2
Salpetersaures Kali	115,9	335,1
Chlorstrontium	117,6	117,5
Salpetersaures Natron	121,0	224,8
Essigsaures Natron	124,37	209,0
Kohlensaures Kali	133,0	205,0
Salpetersaurer Kalk	151,0	362,2
Essigsaures Kali	169,0	798,2
Chlorcalcium	179,5	325,0
Salpetersaures Ammoniak	180,0	unendlich

Legrand hat sich nicht damit begnügt, die Siedepunkte der gesättigten wässerigen Lösungen zu bestimmen, sondern er machte auch zahlreiche und genaue Versuche, um die Salzmenge auszumitteln, welche man zu 100 Theilen Wasser setzen muß, um die Siedetemperatur um 1 — 2 Grad u. s. w., bis zum Sättigungspunkte, zu erheben. Die folgende Tabelle giebt einen Auszug aus seiner Arbeit.

Erhöhung der Siedetemperatur in Graden.	Salpetersf. krystallisirtes Ammoniak.	Chlorcalcium.	Essigsaures Kali.	Salpetersaurer Kalk.	Kohlensaures Kali.	Essigsaures Natron.	Salpetersaures Natron.	Chlorstrontium.	Salpetersaures Kali.	Neutrales weinsteinsaures Kali.	Ammoniaksalz.	Chlornatrium.	Chlorkalium.	Phosphorsaures Natron.	Kohlensaures Natron.	Chlorbarium.	Chlorsaures Kali.
1	10,0	10,0	10,5	15,0	13,0	9,9	9,3	16,7	12,2	26,9	7,8	7,7	9,0	23,0	14,4	19,6	14,64
2	20,5	16,5	20,0	25,3	22,5	17,6	18,7	25,2	26,4	47,2	13,9	13,4	17,1	42,8	26,7	32,5	29,28
3	31,3	21,6	28,6	34,4	31,0	23,1	28,2	32,1	42,2	65,0	19,7	18,4	24,5	60,6	36,8	44,5	43,92
4	42,4	25,8	36,4	42,6	38,8	30,5	37,9	37,9	59,6	82,3	25,2	23,1	31,4	76,8	44,7	56,0	58,56
5	53,8	29,4	43,4	50,4	46,1	36,7	47,7	43,4	78,3	100,1	30,5	27,7	37,8	91,8			
6	65,4	32,6	49,8	57,8	53,1	42,9	57,6	48,8	98,2	118,5	35,7	31,8	44,2	106,1			
7	77,3	35,6	55,8	64,9	59,6	49,3	67,7	54,0	119,0	137,3	41,3	35,8	50,5				
8	89,4	38,5	61,6	71,8	65,9	55,8	77,9	59,0	140,6	156,5	47,3	39,7	56,9				
9	101,9	41,3	67,4	78,6	71,9	62,4	88,3	63,9	163,0	176,1	53,5						
10	114,9	44,0	73,3	85,3	77,8	69,2	98,8	68,9	185,9	196,2	59,9						
11	128,4	46,8	79,3	91,9	83,0	76,2	109,5	74,1	209,2	216,8	66,4						
12	142,4	49,7	85,3	98,4	88,2	83 4	120,3	79,6	233,0	237,9	73,3						
13	156,9	52,6	91,4	104,8	93 2	90,9	131,3	85,3	257,6	259,5	80,5						
14	172,0	55,6	97,6	111,2	98,0	98,8	142,4	91,2	283,3	281,6	88,1						
15	188,0	58,6	103,9	117,5	102,8	107,1	153,7	97,5	310,2								
16	204,4	61,6	110,3	123,8	107,5	115,8	165,2	104,0	336,0								
17	221,4	64,6	116,8	130,0	112,3	125,1	176,8	110,9									
18	238,8	67,6	123,4	136,1	117,1	134,9	188,6										
19	256,8	70,6	130,1	142,1	122,0	145,2	200,5										
20	275,3	73,6	136,9	148,1	127,0	156,1	212,6										
22	314,0	79,8	150,8	160,1	137,0	179,3											
24	354,0	86,0	165,1	172,2	147,1	204,5											
26	396,0	92,2	180,1	184,5	157,3												
28	440,2	98,4	196,1	197,0	167,7												
30	487,4	104,6	213,0	209,5	178,1												
32	537,3	110,9	230,6	222,2	188,8												
34	590,0	117,2	248,7	235,1	199,6												
36	645,0	123,5	267,5	248,1													
38	705,5	129,9	287,3	261,3													
40	770,5	136,3	308,3	274,7													
42	840,6	142,8	330,8	288,4													
44	915,5	149,4	354,9	302,6													
46	995,5	156,2	380,6	317,4													
48	1081,5	163,2	407,9	333,2													
50	1173,5	170,5	436,9	351,2													
52	1273,0	178,1	467,6														
54	1383,0	186,0	500,0														
56	1504,0	194,3	534,1														
58	1637,0	203,0	569,9														
60	1775,0	212,1	607,4														
62	1923,0	221,6	646,6														
64	2084,0	231,5	687,6														
66	„	241,9	730,4														
68	„	252,8	775,0														
70	„	264,2															
72	„	276,1															
74	„	288,5															
76	„	301,4															
78	„	314,8															
80	unendl.																

Rudberg hat durch genaue Versuche nachgewiesen, daß die Temperatur der aus einer siedenden Salzlösung sich entwickelnden Dämpfe vollkommen der Temperatur derjenigen Dämpfe gleich ist, welche unter gleichem Drucke aus reinem Wasser aufsteigen, die Temperatur der siedenden Salzlösung mag noch so viel die des siedenden Wassers übersteigen.

Wenn eine Flüssigkeit mit irgend einer andern mehr oder weniger flüchtigen gemischt wird, so tritt ebenfalls eine Veränderung des Siedepunkts ein. So wird durch Alkohol der Siedepunkt des Wassers erniedrigt, durch Schwefelsäure aber erhöht.

Auch die Wände der Gefäße üben einen Einfluß auf den Siedepunkt aus; so kocht z. B. das Wasser in metallenen Gefäßen eher als in gläsernen. Man beobachtet häufig, daß das Kochen unter einem heftigen Aufstoßen vor sich geht, welches um so stärker ist, je mehr Cohäsion die Theilchen der Flüssigkeit unter einander haben, und je stärker die Molekularwirkung zwischen den Theilchen der Flüssigkeit und der Gefäßwände ist. Es reicht oft hin, einige Metallstückchen in die Glasgefäße zu werfen, um das Stoßen zu verhindern und das Kochen regelmäßig zu machen.

140 **Schnelligkeit des Kochens.** Die Menge des Dampfes, welche durch Kochen erzeugt wird, hängt von der Menge der Wärme ab, welche in einer gegebenen Zeit in die Flüssigkeit übergehen kann, und diese Wärmemenge hängt ab 1) von der Wirksamkeit des Heerdes, 2) von der Natur und der Dicke der Kesselwände, und 3) von der Größe der Oberfläche der Flüssigkeit, welche der Wirkung des Feuers ausgesetzt ist.

1. Die Wirksamkeit der Feuerstelle hängt von der Einrichtung des Ofens und der Natur des Brennstoffs ab, denn verschiedene Brennstoffe, wie Holz, Kohlen, Torf u. s. w., geben bei gleichem Gewicht nicht gleiche Mengen Wärme, und auch nicht mit allen läßt sich dieselbe Temperatur hervorbringen.

2. Die äußere Oberfläche des Kessels kann mehr oder weniger geeignet seyn Wärme aufzunehmen, und ferner werden wir sehen, daß die Natur der Wände und die Dicke derselben einen bedeutenden Einfluß auf die Menge der durchgehenden Wärme ausübt.

3. Das Wasser, welches die erhitzten Kesselwände berührt, ist dasjenige, welches zunächst die Wirkung des Feuers empfängt; und wenn jeder Theil der Wand gleiche Wärmemenge liefert, so ist klar, daß die Menge des Wassers, welches in einer gegebenen Zeit verdampft, der Größe desjenigen Theils der Kesselwand proportional ist, welcher vom Feuer getroffen wird. Dies ist auch durch Versuche bestätigt worden, welche wenigstens für die Praxis wichtig sind. Es scheint, daß unter den günstigsten Umständen bei einem möglichst lebhaften Feuer jedes Quadratmeter der erhitzten Oberfläche 2 bis 3 Kilogramm Wasser in der Minute verdampft.

Es ist dies wenigstens der Fall bei den Locomotiven auf Eisenbahnen, welche mit einem Drucke von 4 bis 5 Atmosphären arbeiten. Zur Heizung der Kessel feststehender Niederdruckmaschinen sind die Einrichtungen so getroffen, daß möglichst an Brennmaterial gespart wird, und bei diesen erhält man in der Regel nur $\frac{2}{3}$ Kilogramm Dampf in der Minute von jedem Quadratmeter der erhitzten Fläche, wenn man auch diejenigen Theile des Kessels eben so gut als Feuerfläche betrachtet, welche nur der Wirkung des Rauchs ausgesetzt sind, als diejenigen, welche die directe Wirkung der Flamme empfangen.

141 Bei gleichem Drucke sind die Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten nicht dieselben. Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte mehrerer Flüssigkeiten für einen mittleren Barometerstand von 760^{mm}.

Cyangas	— 18	Grad.
Schweflige Säure .	— 10	»
Schwefeläther . . .	+ 37,8	»
Schwefelkohlenstoff .	47,0	»
Alkohol	79,7	»
Terpentinöl . . .	157	»
Phosphor	290	»
Schwefel	299	»
Schwefelsäure . .	310	»
Leinöl	316	»
Quecksilber . . .	350	»

142 Einige Flüssigkeiten zeigen, mit rothglühenden Metallflächen in Berührung gebracht, die eigenthümliche Erscheinung, daß sie nicht in's Kochen kommen. Im Kleinen kann man den Versuch leicht anstellen, wenn man eine Metallschale (von Silber oder Platin) über einer Spirituslampe bis zum Rothglühen erhitzt und dann einige Tropfen Wasser in die glühende Schale fallen läßt. Die Flüssigkeit rundet sich ab wie Quecksilber in einem Glasgefäße, nimmt eine rasche drehende Bewegung an, ohne in's Kochen zu kommen und ohne merklich an Volumen abzunehmen. Wenn die Flamme der Spirituslampe groß genug ist, um ein lebhaftes Glühen der Metallschale zu erhalten, so kann man nach und nach eine ziemlich beträchtliche Menge Wasser in die Schale gießen, ohne daß es in's Sieden kommt. Wenn man aber die Flamme unter der Schale auslöscht und die Schale etwas erkaltet ist, beginnt das Wasser plötzlich mit der größten Heftigkeit zu kochen, so daß das Wasser nach allen Richtungen hin fortgeschleudert wird. Diese Erscheinung wurde zuerst von Leidenfrost beobachtet, daher der Name des Leidenfrostischen Tropfens.

Die wahrscheinliche Ursache dieses sonderbaren Phänomens ist die, daß zwischen den Theilchen des Wassers und dem glühenden Metall eine zu

wenig innige Berührung stattfindet, als daß genug Wärme in das Wasser übergehen kann, um das Kochen hervorzubringen. Bei abnehmender Hitze stellt sich die Berührung wieder her, daher die plötzliche heftige Dampfbildung. Wie dem auch sey, die Sache erscheint höchst sonderbar und verdient wohl eine neue gründliche Untersuchung.

Auch unter andern Umständen, bei beträchtlicheren Massen, ist diese Erscheinung beobachtet worden, z. B. im Papinianischen Topfe und in Kesseln von Dampfmaschinen; sie ist die Ursache gefährlicher Explosionen. Wenn nämlich der Wasserstand in einem Dampfkessel so tief gesunken ist, daß ein Theil der Feuerfläche nicht mehr mit Wasser in Berührung ist, so kann das Metall an dieser Stelle glühend werden. Wenn nun von Neuem Wasser in den Kessel zufließt, so sind die Bedingungen zum Leidenfrostischen Phänomen gegeben; einige Zeit lang bleibt das Wasser mit der glühenden Fläche in Berührung, ohne hier zu kochen, nachdem aber die Kesselwände sich etwas abgekühlt haben, beginnt auf einmal die Dampfbildung mit solcher Heftigkeit, daß die Dämpfe nicht einmal durch das geöffnete Sicherheitsventil schnell genug entweichen können, es erfolgt eine Explosion.

Eine Erscheinung, welche auch hierher gehört, ist von Perkins beobachtet worden. Bei der Rothglühhitze kann man nämlich mehrere kleine Oeffnungen in die Wände von Dampfkesseln machen, ohne daß Dampf entweicht, bei niedrigerer Temperatur aber strömt der Dampf mit Gewalt hervor.

143 Verdunstung nennt man die Bildung von Dampf an der freien Oberfläche der Flüssigkeit, während, wie wir gesehen haben, das Kochen darin besteht, daß sich auch im Innern der flüssigen Masse Dampf bildet. Das Wasser verdampft an der Oberfläche der Flüsse, Seen und Meere, es verdampft an der Oberfläche des feuchten Bodens, an den Pflanzen. Offenbar hat der sich so bildende Wasserdampf keine Spannkraft, welche stark genug ist, um den Druck der atmosphärischen Luft zu überwinden. Die alltäglichsten Beobachtungen zeigen uns, daß sich bei jeder Temperatur Wasserdampf bildet, und daß er sich auch bei der schwächsten Tension doch in den Lüften verbreitet. Man hatte früher angenommen, daß eine chemische Verwandtschaft zwischen den Luftmolekülen und denen des Wasserdampfs die Ursache dieser Erscheinung sey; wir haben aber gesehen, daß es nicht nöthig ist, chemische Kräfte zu Hülfe zu nehmen. Der Wasserdampf, so schwach seine Spannkraft auch sein mag, mischt sich mit der Luft, wie sich zwei Gase mischen. Die einzige Bedingung also, welche erfüllt seyn muß, damit eine Flüssigkeit verdunsten kann, ist die, daß die umgebenden Luftschichten nicht mit Dampf gesättigt sind; da ferner bei der Mischung zweier Gase die Moleküle des einen ein mechanisches Hinderniß für die Verbreitung des andern bilden, so kommt es, daß bei der

Verdunstung die Luft ein Hinderniß für die schnelle Verbreitung des Dampfes ist. In einer vollkommen ruhigen Atmosphäre geht deshalb die Verdunstung nur langsam vor sich, während bei bewegter Luft die Verdunstung weit rascher vor sich geht, indem die Flüssigkeit stets mit neuen Luftschichten in Berührung kommt, die noch nicht mit Dampf gesättigt sind. Daher kommt es, daß, wenn ein trockner Wind mit Lebhaftigkeit weht, das Wasser sehr rasch verdunstet.

Die Schnelligkeit der Verdunstung hängt nicht allein von der Bewegung der Luft ab, sondern auch von der Tension des Dampfes, oder vielmehr von der Differenz zwischen dem Maximum der Spannkraft, welche dem Wasserdampfe bei der herrschenden Temperatur zukommt, und der Tension des Wasserdampfes, welcher schon in der Luft enthalten ist. Aus den Versuchen, welche Dalton über diesen Gegenstand anstellte, geht hervor, daß die Menge der Flüssigkeit, welche in einer gegebenen Zeit verdunsten kann, stets dieser Differenz der Spannkräfte proportional ist. Bei gleicher Oberfläche wird also in einer vollkommen trocknen Luft bei einer Temperatur von 11° gerade eben so viel Wasser verdunsten, als während derselben Zeit bei 30° in einer Luft, welche schon Wasserdampf von 20 Millimeter Spannkraft enthält.

Es ist wohl kaum röthig zu bemerken, daß unter übrigens gleichen Umständen die Wassermenge, welche in einer gegebenen Zeit verdunstet, der Größe der Oberfläche proportional ist, an welcher die Verdunstung stattfindet.

Alle übrigen Flüssigkeiten verdunsten an der freien Luft nach denselben Principien wie das Wasser, man kann nur nicht sagen, daß die Geschwindigkeit der Verdunstung geradezu der Tension des Dampfes proportional ist, denn im Allgemeinen ist noch kein Dampf dieser Flüssigkeiten in der Luft vorhanden, durch welchen die Verdunstung verzögert würde.

Wir werden in der Meteorologie alle die Phänomene der Natur kennen lernen, welche von der Bildung des Wasserdampfes, seiner Suspension in der Atmosphäre und seiner Condensation in Gestalt von Regen, Thau, Reif u. s. w. abhängen.

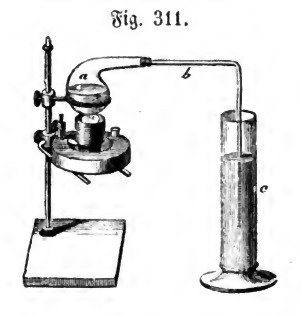
Latente Wärme der Dämpfe. Wenn eine Flüssigkeit verdampft, so muß sie Wärme absorbiren; diese beim Verdampfen absorbirte Wärme ist für das Gefühl und für das Thermometer ebenso verschwunden wie die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird. **144**

Daß bei der Dampfbildung Wärme gebunden wird, geht schon daraus hervor, daß die Temperatur einer Flüssigkeit während des Kochens unverändert bleibt. Die Temperatur des siedenden Wassers bleibt 100°, wie sehr wir auch das Feuer verstärken mögen; alle Wärme, welche man dem siedenden Wasser zuführt, dient nur dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln.

Das Binden von Wärme beim Verdampfen der Flüssigkeiten läßt sich leicht dem Gefühle merklich machen; man gieße nur einige Tropfen einer leicht verdampfenden Flüssigkeit, etwa Weingeist oder Schwefeläther, auf die Hand, so wird man ein Gefühl von Kälte haben, weil der Hand die zum Verdampfen der Flüssigkeit nöthige Wärme entzogen wird. Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt und diese mit Schwefeläther betröpfelt, so sinkt das Thermometer um mehrere Grade.

Nachdem wir nun die Bindung der Wärme bei der Dampfbildung der Art nach kennen gelernt haben, kommt es darauf an, die latente Wärme der Dämpfe auch der Größe nach zu bestimmen, d. h. zu ermitteln, wie viel Wärme nöthig ist, um eine bestimmte Menge irgend einer Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln.

Fig. 311.



In Fig. 311 stelle *a* einen Glaskolben vor, in welchem Wasser mit Hülfe einer Weingeistlampe kochend erhalten wird; wenn nun die sich bildenden Dämpfe durch ein Glasrohr *b* in ein cylindrisches Gefäß *c* geleitet werden, welches mit kaltem Wasser gefüllt ist, so werden die Dämpfe hier verdichtet, die Wärme also, welche bei der Bildung der Dämpfe in *a* gebunden wurde, muß in *c* wieder frei werden, das kalte Wasser in *c* wird also allmälig erwärmt, und aus der hier hervorgebrachten Temperaturerhöhung kann man auf die Größe der latenten Wärme der Dämpfe schließen.

Nehmen wir an, das Kochen im Gefäße *a* habe schon einige Zeit gedauert, so daß alle Luft aus dem Gefäße ausgetrieben ist, und nun erst tauche man das Ende des gekrümmten Rohrs in das kalte Wasser des Cylinders *c*, so werden alle Dampfblasen alsbald verdichtet, so wie sie mit dem kalten Wasser in Berührung kommen. In dem Maaße aber, als das Wasser in *c* wärmer wird, werden die Dampfblasen größer, bis endlich, wenn auch das Wasser in *c* zur Siedehitze erwärmt ist, die Dampfblasen unverdichtet durch die ganze Flüssigkeitsmasse aufsteigen, also in *c* selbst ein förmliches Kochen stattfindet. In dem Augenblicke, in welchem das Kochen in *c* beginnt, wird der Versuch unterbrochen, indem man den Glascylinder *c* wegnimmt.

Gesetzt nun, in *c* hätten sich zu Anfange des Versuchs 11 Kubikzoll

Wasser von 0^0 befunden, so wird der Cylinder jetzt, nach Beendigung des Versuchs, 13 Kubikzoll Wasser von 100^0 enthalten; es sind also 2 Kubikzoll Wasser hinzugekommen. Diese 2 Kubikzoll Wasser sind im Gefäße *a* verdampft und im Cylinder *c* verdichtet worden, die latente Wärme, welche in *a* gebunden wurde, ist in *c* wieder frei geworden und hat hier die 11 Kubikzoll Wasser von 0^0 auf 100^0 erwärmt; dieselbe Wärmemenge also, welche bei der Verdampfung von 2 Kubikzoll Wasser absorbirt wird, reicht hin, um die Temperatur von 11 Kubikzoll Wasser von 0^0 bis 100^0 zu erhöhen. Nun aber verhalten sich 2 zu 11 wie 1 zu 5,5; wir können das Resultat unsers Versuchs also auch folgendermaßen so ausdrücken: Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um eine bestimmte Quantität Wasser von 100^0 in Dampf von 100^0 zu verwandeln, reicht hin, um die Temperatur einer $5\frac{1}{2}$mal so großen Wassermasse von 0^0 auf 100^0 zu erhöhen.

Wir haben oben angeführt, daß man als Einheit der Wärmemengen diejenige Wärmequantität annimmt, welche erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1^0 zu erhöhen; um die Temperatur von $5\frac{1}{2}$ Kilogramm Wasser um 1^0 zu erhöhen, sind also 5,5, und um die Temperatur dieser Wassermasse um 100^0 zu erhöhen, sind 550 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

Die latente Wärme von 1 Kilogramm Wasserdampf ist demnach gleich 550.

Der eben angeführte Versuch ist nun nicht geeignet, die latente Wärme des Wasserdampfes zu bestimmen, er wird immer mehr oder weniger unrichtige Resultate geben; er ist aber sehr geeignet, den Zusammenhang der Sache recht anschaulich zu machen. Was die Resultate dieses Versuchs besonders ungenau macht, ist der Umstand, daß bei der hohen Temperatur, zu welcher man das Wasser im Cylinder *c* erheben muß, einen bedeutenden Wärmeverlust an die Umgebung zur Folge hat; dann aber wird auch eine nicht unbedeutende Quantität Wasserdampf schon im Rohre verdichtet, giebt hier schon eine frei werdende Wärme an die Luft ab und kommt als Wasser im Cylinder *c* an; man begreift also leicht, daß, bis das Wasser in *c* ins Kochen kommt, mehr Wasser aus dem Gefäße *a* herübergekommen seyn wird, als es der Fall seyn würde, wenn diese beiden Fehlerquellen nicht vorhanden wären; dieser Versuch wird also in der Regel einen zu kleinen Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes geben. Wir werden sogleich genauere Methoden zur Bestimmung dieser Größe kennen lernen.

Bei der Destillation werden die in irgend einem Gefäße durch Erwärmung gebildeten Dämpfe in ein Rohr geleitet, welches mit kaltem Wasser umgeben ist; dadurch werden die Dämpfe in diesem Rohre in tropfbare Flüssigkeit verwandelt, die Temperatur des Kühlwassers aber wird durch

die bei der Condensirung der Dämpfe frei werdende Wärme bedeutend erhöht; man kann sich davon leicht schon an dem kleinen Destillirapparate, Fig. 312, überzeugen, bei welchem die Dämpfe aus dem Glaskolben, in welchem sie erzeugt werden, in ein gerades Rohr geleitet werden, welches durch ein weiteres Rohr hindurchgeht, welches das Kühlwasser enthält. Das Kühlwasser, welches am untern Ende des Kühlrohrs kalt zufließt, fließt am obern Ende des Kühlrohrs erwärmt wieder ab. Bei Destillationen,

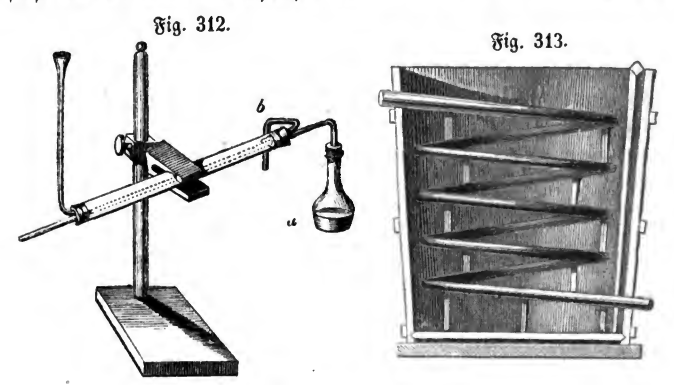


Fig. 312. Fig. 313.

welche in größerm Maaßstabe ausgeführt werden, ist das Rohr, in welchem die Dämpfe condensirt werden sollen, in Form einer Schraubenlinie durch das mit dem Kühlwasser gefüllte Gefäß geleitet, wie man Fig. 313 sieht, damit die Dämpfe möglichst lange mit dem kalten Wasser in Berührung bleiben und man überzeugt seyn kann, daß am offnen Ende des Rohrs kein Dampf unverdichtet entweicht. Wenn ein solcher Apparat einige Zeit im Gange geblieben ist, so wird man die oberen Schichten des Wassers im Kühlgefäße immer sehr heiß finden, weil natürlich das erwärmte Wasser sogleich in die Höhe steigt.

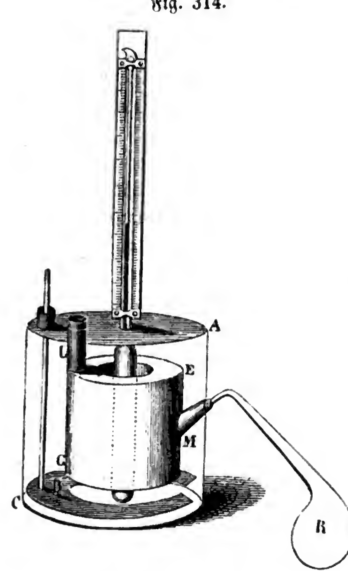
Man könnte nun mit jedem Destillirapparate den Werth der latenten Wärme der Dämpfe bestimmen, wenn es möglich wäre, jederzeit genau zu ermitteln, wie viel Dampf in einer gegebenen Zeit verdichtet worden ist und wie viel Wärme er an das Kühlwasser abgegeben hat; um die latente Wärme der Dämpfe genau zu bestimmen, hat man also nur einen Destillirapparat so einzurichten, daß sich diese Größen mit Genauigkeit ermitteln lassen.

Black hat zuerst diese Methode in Anwendung gebracht, und alle späteren Physiker, welche die latente Wärme der Dämpfe zu bestimmen suchten, sind von derselben Grundidee ausgegangen. Wenn die Resultate ver-

schiedener Untersuchungen über diesen Gegenstand ziemlich von einander abweichen, so liegt der Grund nur darin, daß mancherlei Fehlerquellen nicht immer gehörig berücksichtigt wurden.

Die neueste, sehr gründlich durchgeführte Arbeit über die latente Wärme der Dämpfe hat Brix in Berlin gemacht (Poggendorff's Annalen LV.). In Fig. 314 ist der Apparat dargestellt, den er zu seinen Versuchen anwandte. Als Kühlgefäß diente ein cylindrisches Gefäß *A C*, dessen Basis ungefähr 3 Zoll Durchmesser hatte und welches auch ungefähr 3 Zoll hoch war; die in einer kleinen Retorte *R* entwickelten Dämpfe wurden, nicht wie gewöhnlich in einem Schlangenrohre, sondern in einem cylindrischen hohlen Gefäße *E G* von ringförmiger Basis condensirt. Bei *M* wurden die Dämpfe in dieses Gefäß hineingeleitet, dessen innerer Raum durch eine Röhre *L* mit der äußern Luft in Verbindung war, so daß die durch die Wärme verdrängte Luft hier austreten konnte. Das Kühlgefäß wurde mit einer gewogenen Quantität Wasser gefüllt, dessen Temperatur man stets an einem in der Mitte des ganzen Apparates angebrachten Thermometer ablesen konnte. In dem Raume zwischen der Vorlage *E G* und der Wand des äußern Gefäßes *A C* befand sich eine horizontal liegende Metallscheibe *B*, welche vermittelst eines vertikalen Drahtes sich selbst parallel auf und ab bewegen konnte; dadurch wurde das Kühlwasser in steter Bewegung erhalten und eine möglichst gleichförmige Vertheilung der Wärme in demselben bewirkt.


Fig. 314.



Bei dem Versuche ruhte der Apparat auf drei hölzernen Füßchen, welche ihn nur in wenigen Punkten berührten und gegen die Wärme, welche vom Beobachter und der kleinen Weingeistlampe, durch welche die Flüssigkeit in der Retorte *R* ins Kochen gebracht wurde, ausstrahlte, war er durch Schirme von Holz und Pappe geschützt.

Um zu verhüten, daß das Kühlgefäß Wärme an die umgebende Luft verliert, wandte Brix einen Kunstgriff an, dessen sich schon Rumford bei ähnlichen Versuchen bedient hatte, und welcher darin besteht, daß das Kühlgefäß mit Wasser gefüllt wird, welches zuvor schon einige Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet worden war, und die Destillation so lange fortsetzt, bis die Temperatur des Kühlwassers die Lufttemperatur um ebenso viel übertrifft, als sie anfangs unter derselben gewesen war. Dabei läßt sich dann wohl annehmen, daß der Apparat während der ersten Hälfte des Versuchs etwa ebenso viel Wärme von der Luft empfing, als er in der zweiten Hälfte verlor. Die übrigen Vorsichtsmaßregeln, welche Brix anwandte, um möglichst genaue Resultate zu erhalten, können hier nicht weiter erörtert werden.

Die übergegangene Flüssigkeit selbst wurde nicht gewogen, sondern der Gewichtsverlust, den die Flüssigkeit in der Retorte R während des Versuchs erlitten hatte, bestimmt. Man kannte also die Quantität der überdestillirten Flüssigkeit, man wußte, welche Temperaturerhöhung die bei ihrer Verdichtung frei werdende Wärme in einer bekannten Wassermasse hervorgebracht hatte, und konnte daraus die latente Wärme der Dämpfe berechnen.

Folgendes sind die Werthe, welche Brix nach dieser Methode für die latente Wärme des Dampfes mehrerer Flüssigkeiten fand:

Wasser	540
Alkohol	214
Schwefeläther . . .	90
Terpentinöl . . .	74
Citronenöl	80.

Diese Werthe sind immer das Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Resultaten.

Despretz, welcher ebenfalls recht genaue Versuche über diesen Gegenstand gemacht hatte, giebt folgende Werthe an:

Wasser	531
Alkohol	208
Schwefeläther . . .	97
Terpentinöl . . .	77.

Rumford fand für die latente Wärme des Wasserdampfs den Werth 567, Dulong 543.

Bezeichnen wir den Werth für die latente Wärme des Wasserdampfs mit 1, so ergeben sich folgende Werthe für die latente Wärme der übrigen Dämpfe:

	Nach Brix.	Nach Despretz.
Wasser	1	1
Alkohol	$\frac{1}{2,52}$	$\frac{1}{2,55}$
Schwefeläther	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5,47}$
Terpentinöl	$\frac{1}{7,3}$	$\frac{1}{7}$.

Nimmt man die Dichtigkeit des Wasserdampfs zur Einheit, so ergeben sich für die Dichtigkeit der Dämpfe der eben besprochenen Flüssigkeiten aus der Tabelle auf Seite 338 folgende Werthe:

Wasser	1
Alkohol	2,58
Schwefeläther . . .	4,15
Terpentinöl . . .	8,04.

Die Betrachtung dieser Zahlen zeigt, daß sich die latente Wärme der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten sehr nahe umgekehrt verhält wie die Dichtigkeit dieser Dämpfe. So ist der Alkoholdampf 2,58mal dichter als Wasserdampf, die latente Wärme des Alkoholdampfes ist aber 2,52- bis 2,55mal kleiner als die des Wasserdampfes. Beim Terpentinöl ist die Uebereinstimmung geringer; wenn wir jedoch für die Dichtigkeit des Terpentinöldampfes nach Dumas den Werth 4,76 nehmen, so ist er 7,6mal dichter als der Wasserdampf, was schon weit besser paßt. Für den Aether ist die Differenz bedeutend. Es muß vor der Hand dahingestellt bleiben, ob der Mangel an Uebereinstimmung vielleicht den Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden muß, oder ob ein solches Gesetz gar nicht stattfindet.

Wenn dieses Gesetz richtig wäre, so würden gleiche Volumina gesättigten Dampfes bei der Temperatur des Siedepunktes für alle Flüssigkeiten dieselbe Menge latenter Wärme enthalten.

Die bisher besprochenen Werthe für die latente Wärme der Dämpfe gelten natürlich nur für die bei der Temperatur des Siedepunktes unter einem Luftdrucke von 760^{mm} gebildeten Dämpfe.

Die latente Wärme der Dämpfe ist nicht für alle Temperaturen dieselbe; sie ist größer für niedrige, geringer für hohe Temperaturen; ein Kilogramm Wasserdampf von 50^0 enthält also mehr, ein Kilogramm Wasserdampf von 150^0 enthält weniger gebundene Wärme als ein Kilogramm Wasserdampf von 100^0. Nach den Versuchen von Scharp ist die Summe der freien und der fühlbaren Wärme des Wasserdampfes immer eine constante Größe. Die latente Wärme des Wasserdampfes von

100° ist gleich 540, addirt man dazu die freie Wärme, also 100°, so erhält man die Summe 640; dieselbe Summe muß man erhalten, wenn man für irgend eine andere Temperatur die freie und die gebundene Wärme zusammennimmt; daraus ergeben sich für die latente Wärme des Wasserdampfes verschiedener Temperaturen folgende Werthe;

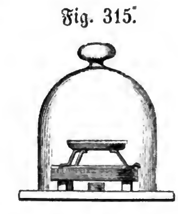
Freie Wärme des Dampfes.	Latente Wärme des Dampfes.
— 10°	650
0°	640
+ 50°	590
100°	540
200°	440.

Pambours Versuche haben dies bestätigt. Nach Despretz findet für Alkohol-, Aether- und Terpentinöldampf diese Beziehung nicht Statt.

145 **Erzeugung von Kälte durch Verdampfung.** Wenn eine Flüssigkeit an freier Luft kocht, so behält sie eine constante Temperatur, weil sie von dem Feuer durch die Wände des Gefäßes stets so viel Wärme erhält, als durch die Dampfbildung absorbirt wird. Wenn das Kochen aber unter dem Recipienten der Luftpumpe vor sich geht, so sinkt die Temperatur fortwährend, weil alsdann der Dampf die zu seiner Bildung nöthige latente Wärme aus der Flüssigkeil selbst und aus den umgebenden Körpern nehmen muß. Durch die bei rascher Verdampfung stattfindende Wärmebindung erklären sich folgende Versuche.

146 **Gefrieren des Wassers im leeren Raume.** Man setzt unter den Recipienten der Luftpumpe ein breites Glasgefäß, welches mit Schwefelsäure gefüllt ist. Einige Zoll darüber ist ein ganz dünnes flaches Metallschälchen angebracht, Fig. 215, welches einige Gramm Wasser enthält.

Fig. 315.



Gewöhnlich ist dieses Schälchen an drei Fäden aufgehängt, oder es ruht auf drei feinen Metallfüßen, welche auf dem Rande des untern Glasgefäßes aufstehen. Nach einigen Kolbenzügen kommt das Wasser ins Kochen; fährt man fort auszupumpen, so hört das Kochen auf, und wenn die Leere so vollständig wie möglich hergestellt ist, wartet man einige Minuten. Bald erscheinen Eisnadeln im Schälchen, und nach einiger Zeit ist die ganze Wassermasse in eine feste Masse verwandelt. Dieser merkwürdige Versuch rührt von Leslie her. Die Schwefelsäure absorbirt den Wasserdampf, sobald er sich bildet, und unterhält dadurch eine rasche Verdunstung. Alle Körper, welche den Wasserdampf stark absorbiren, bringen dieselbe Wirkung hervor. Das Metallschälchen muß sehr dünn seyn, weil es auch an der Erkaltung Theil nehmen muß; es muß von der Umgebung durch

schlechte Wärmeleiter isolirt seyn, damit dem Wasser nicht von außen Wärme zugeführt wird.

In Wollaston's Kryophorus gefriert das Wasser ebenfalls durch seine eigene Verdampfung. Zwei Glaskugeln, Fig 316, sind durch eine Röhre verbunden. In jede Kugel wird etwas Wasser gebracht und durch das Kochen desselben alle Luft aus dem Apparate ausgetrieben.

Fig. 316.

Ist dies geschehen, so wird die Oeffnung bei *e* mittelst eines Löthrohrs zugeschmolzen, und so der Apparat luftdicht verschlossen. Wenn man nun alles Wasser in einer Kugel zusammenlaufen läßt und dann die andere Kugel in eine Kältemischung taucht, so wird durch die fortwährend hier erfolgende Verdichtung der Wasserdämpfe in der andern Kugel eine so rasche Verdunstung hervorgerufen, daß das Wasser gefriert.

Auch durch die rasche Verdunstung von Schwefeläther kann man Wasser leicht zum Gefrieren bringen. Man umwickelt zu diesem Zwecke eine mit Wasser gefüllte, etwa 1 Linie weite Glasröhre mit Baumwolle, die man mit Schwefeläther beträufelt. Die so vorgerichtete Röhre bringt man in einem beliebigen Glasgefäße unter die Glocke der Luftpumpe. Beim Evacuiren verdunstet der Aether so rasch, daß das Wasser gefriert.

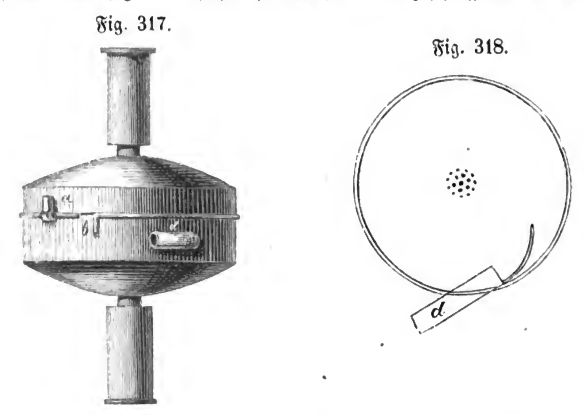
Gefrieren des Quecksilbers. Man kann die Erkaltung durch Verdampfen bis zum Gefrierpunkte des Quecksilbers treiben. Zu diesem Zwecke umwickelt man eine Thermometerkugel mit einem Schwämmchen oder einem schwammartigen Gewebe, welches man mit Schwefelkohlenstoff oder noch besser mit flüssiger schwefliger Säure befeuchtet. Die Verdampfung geht so rasch vor sich, und die dadurch weggenommene Wärmemenge ist so bedeutend, daß das Thermometer auf — 10°, — 20°, — 30° fällt und nach einigen Augenblicken das Quecksilber in der Kugel gefriert. 147

Eine Flüssigkeit verdampft um so rascher, sie erzeugt also bei ihrer Verdampfung eine um so stärkere Kälte, je tiefer ihr Siedepunkt liegt; deshalb wird durch Verdampfen von Schwefeläther eine stärkere Kälte erzeugt als durch Wasser, durch schweflige Säure mehr als durch Aether, durch flüssige Kohlensäure mehr als durch schweflige Säure.

Wenn man den mit flüssiger Kohlensäure gefüllten Recipienten des Apparates Fig. 304 auf Seite 342 noch etwas abkühlt, indem man ihn in eine Kältemischung stellt; wenn man dann die Flasche umkehrt, so daß der Hahn unten ist, und diesen Hahn öffnet, so dringt ein Strahl flüssiger Kohlensäure hervor, welche ganz milchig erscheint, weil durch die rasche Verdunstung so viel Wärme gebunden wird, daß ein Theil der Kohlensäure selbst in den festen Zustand übergeht; es bilden sich schneeähnliche Flocken

von Kohlensäure. Um diese feste Kohlensäure zu sammeln, dient der Behälter Fig. 317. Zwei Cylinder von Messingblech, welche auf der einen Seite mit einem gewölbten Boden geschlossen sind, werden zusammengesteckt, wie man Fig. 317 sieht, so daß sie einen geschlossenen Raum bil-

Fig. 317. Fig. 318.



den. Ein am oberen Cylinder fest ansitzender Haken *a* greift ebenso wie ein diametral gegenüberstehender über einen auf den andern Cylinder aufgelötheten Drahtring und hindert dadurch das Auseinandernehmen der beiden Theile; dreht man sie aber so, daß der Haken *a* an die Stelle *b* kommt, wo der Drahtring unterbrochen ist, so kann man die beiden Theile auseinandernehmen. In Fig. 318 ist der untere Theil im Grundrisse dargestellt. Eine Röhre *d* führt in den Behälter hinein; in diese Röhre *d* wird das an der Flasche Fig. 305 befindliche Röhrchen *n* hineingesteckt und dann die Schraube *t* geöffnet. Die Kohlensäure strömt nun in den Behälter Fig. 317, dessen Handgriffe auf beiden Seiten hohl sind, so daß durch die Löcher in den beiden Böden die verdampfende Kohlensäure entweichen kann, während die feste schneeartige in dem Blechgefäße gesammelt wird. Man braucht nur die beiden Theile auseinander zu nehmen, um die feste Kohlensäure herausnehmen zu können.

Diese hat nun eine sehr niedrige Temperatur, welche noch dadurch erniedrigt werden kann, daß man noch Aether darauf tröpfelt; eine ziemliche Quantität Quecksilber kann man mit diesem Brei augenblicklich gefrieren machen; mit dem Finger berührt erzeugt sie ein schmerzhaftes Gefühl; die Temperatur ist unter — 90°, was jedoch nur mit Thermometern von Weingeist oder Schwefelkohlenstoff ermittelt werden kann.

Man kann, wie schon oben bemerkt wurde, auch Stickstoffoxydulgas

mit Hülfe des Natterer'schen Apparates verdichten. Wenn die Oeffnung im Röhrchen *n* recht fein ist, so erhält man das ausströmende Stickstoffoxydulgas auch in freier Luft im flüssigen Zustande. Natterer sammelte ein kleines Trinkglas voll dieser Flüssigkeit, die sich bei weitem länger erhielt als feste Kohlensäure und die niedrigste Temperatur liefert, die man bis jetzt kennt. Ein zu diesem Zwecke eigens vorgerichtetes Thermometer sank auf — 105°, was wohl der Siedepunkt der Flüssigkeit seyn dürfte; aus der Flüssigkeit herausgezogen sank es noch auf — 115°, indem es sich mit einer Kruste von festem Stickstoffoxydul überzog. Alkohol von 0,84 specif. Gewicht wird bei diesen niedrigen Temperaturen zähe, von 0,797 spec. Gew. bedeutend dickflüssig.

Die Alcarazzas, deren man sich in Spanien bedient, um Wasser und geistige Getränke kühl zu erhalten, sind poröse Gefäße, welche eine große Oberfläche für die Verdunstung bieten. Die im Innern befindliche Flüssigkeit sickert durch die Wände durch, sie verdampft rasch in einer etwas bewegten Luft, und da dieses fortwährend stattfindet, so wird dadurch das Gefäß sammt der darin enthaltenen Flüssigkeit auf einer Temperatur erhalten, welche bedeutend tiefer ist als die der umgebenden Luft.

Aus ähnlichen Gründen haben die Pflanzen in der Regel eine Temperatur, welche niedriger ist als die der Luft, denn ihre äußeren Gewebe verrichten mehr oder weniger das Geschäft der Alcarazzas.

Die reichliche Ausdünstung, welche fortwährend an der Oberfläche lebender Geschöpfe vor sich geht, ist ebenfalls eine Ursache von Abkühlung. Wir werden später sehen, wenn von der thierischen Wärme die Rede ist, daß das Blut der warmblütigen Thiere eine fixe Temperatur hat, welche ohne die größten Nachtheile für den Organismus weder steigen, noch sinken und nicht um einige Grade variiren kann, ohne daß der Tod erfolgt. Beim Menschen, in welchem Klima er auch wohnen mag, beträgt diese Temperatur 37°. In der heißen Zone, wo die Temperatur der Luft oft auf 50° steigt, leben die Menschen in dieser glühenden Atmosphäre, ohne an ihrer Temperatur Theil zu nehmen. Die Ausdünstung ist aber stets dieser Wärme proportional.

Viertes Kapitel.

Von der Dampfmaschine.

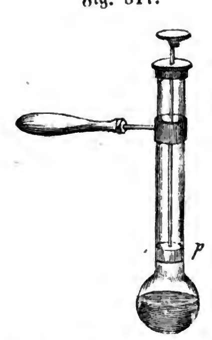
Der Wasserdampf gehört zu den mächtigsten bewegenden Kräften, die uns zu Gebote stehen. Es ist kein Zweifel, daß der ungeheure Auf- 148

schwung, dessen sich die Industrie und der Verkehr in den neuesten Zeiten zu erfreuen haben, der Anwendung des Wasserdampfs zu verdanken ist. Der Wasserdampf liefert uns eine Kraft, deren wir auf's vollkommenste Meister sind, der wir jede nur beliebige Intensität geben können, die wir überall leicht erzeugen und anbringen können.

Die Dampfmaschine spielt im practischen Leben gegenwärtig eine so bedeutende Rolle, daß jeder Gebildete sich gern über die Grundzüge ihrer Construction unterrichten will, und diesen Unterricht sucht er natürlich zuerst in den Lehrbüchern der Physik. Es kann hier natürlich nicht die Rede davon seyn, in Beziehung auf die Construction der Dampfmaschinen und die Geschichte ihrer Erfindung in's Detail einzugehen; der Inhalt dieses Kapitels soll nur dazu dienen, dem Leser die Orientirung in der Einrichtung der wichtigsten Arten von Dampfmaschinen zu erleichtern.

Die Idee, den Wasserdampf als bewegende Kraft zu benutzen, ist sehr alt; schon Hero in Alexandrien construirte einen Apparat, welcher durch die Reaction des ausströmenden Wasserdampfs ungefähr so in Rotationsbewegung gesetzt wurde wie das Segner'sche Wasserrad. Ein italienischer Mathematiker, Brancas, ließ den mit Gewalt aus einer kleinen Oeffnung eines Dampfkessels ausströmenden Dampf gegen die Schaufeln eine Rades stoßen, welches dadurch umgedreht wurde. Wie außerordentlich stark die mechanische Kraft des Wasserdampfs bei höheren Temperaturen werden könne, hat zuerst Papin mittelst des Ventils an seinem Digestor nachgewiesen. Im Jahr 1687 construirte er einen Apparat, welcher gewissermaßen die erste Kolbenmaschine genannt werden kann und dessen Spiel aus Fig. 317 ersichtlich ist. An eine ungefähr 1 Zoll weite Glasröhre ist unten eine Kugel angeblasen, welche etwas Wasser enthält; in der Röhre aber bewegt sich ein Kolben p, welcher mit etwas Werg umwickelt und durch Fett vollkommen schließend und möglichst leicht beweglich gemacht ist. Nehmen wir an, der Kolben befinde sich am untern Ende der Röhre, so wird er durch die entwickelten Dämpfe in die Höhe getrieben werden, wenn man die Kugel erwärmt. Wenn der Kolben oben angekommen ist, taucht man die Kugel in kaltes Wasser; dadurch verdichten sich die Dämpfe im Innern, es entsteht ein verdünnter Raum, der Druck der atmosphärischen Luft, welcher auf der obern Fläche des Kolbens lastet, drückt ihn also nieder. Bei einer abermaligen Erwärmung wiederholt sich dasselbe Kolbenspiel. Papin stellte ganz in dieser Art Versuche an; seine Cylinder, welche von Gußeisen waren, hatten meh-

Fig. 317.



rere Fuß Durchmesser und eine entsprechende Höhe. Sie wurden noch lange im Gießhause zu Kassel aufbewahrt, bis sie endlich beim Brande dieses Gebäudes, im Jahr 1836, zu Grunde gingen.

Die erste praktisch angewandte Dampfmaschine construirte Savary im Jahre 1688. Schon früher hatte Salomon de Caus, in einem zu Frankfurt im Jahr 1615 erschienenen Werke, gezeigt, daß man durch den Druck der Dämpfe Wasser über sein früheres Niveau heben, und durch Papin's Versuche war nachgewiesen, daß man durch Condensation der Dämpfe einen leeren Raum erzeugen könne. In Savary's Maschine ist Beides in Anwendung gebracht; das Spiel derselben läßt sich leicht durch den Apparat Fig. 318 anschaulich machen. Ein Glaskolben *a*, welcher etwas Wasser enthält, ist durch einen Korkstopfen verschlossen, durch welchen zwei Glasröhren hindurchgehen; die eine *b*, welche nach unten gebogen ist, ragt nicht weiter in den Ballon hinein, die andere *c*, welche gerade aufsteigt und nur oben etwas umgebogen ist, geht fast bis auf den Boden des Ballons. Das obere Ende der Röhre *c* sey durch einen Korkstopfen verschlossen, so wird, wenn man den Ballon mittelst einer Spirituslampe erwärmt, das Wasser bald in's Kochen kommen, die Dämpfe entweichen durch die Röhre *b* und nehmen auch die Luft im Ballon mit fort. Wenn das Kochen einige Zeit fortgedauert hat, taucht man das untere Ende der Röhre *b* in ein Gefäß mit Wasser und entfernt die Spirituslampe unter dem Ballon. Die Dämpfe in *a* verdichten sich, und die Folge davon ist, daß das Wasser in der Röhre *b* aufsteigt und sich in das Gefäß *a* ergießt. Wenn es etwa bis zur Hälfte gefüllt ist, verschließe man das untere Ende der Röhre *b* mit einem Kork, nehme den Stopfen von *c* weg und bringe von Neuem Feuer unter den Ballon. Die Dämpfe, die sich nun im oberen Theile des Kolbens bilden, können nicht entweichen, sie drücken auf den Spiegel des Wassers und machen, daß es in der Röhre *c* steigt, um oben auszufließen. Durch ein abermaliges Erkalten des Ballons kann man von Neuem Wasser aus einem tieferen Gefäße durch das Saugrohr *b* in den Ballon *a* aufsaugen und durch abermaliges Erwärmen dasselbe noch weiter im Steigrohre *c* heben. — Da die Savary'schen Maschinen nicht mehr angewandt werden, so wird es wohl genügen, das Princip zu erläutern, ohne weiter auf die Beschreibung ihrer Construction einzugehen. Die Savary'schen Maschinen wurden angewandt, um das Grubenwasser aus Bergwerken fortzuschaffen.

Fig. 318.

c

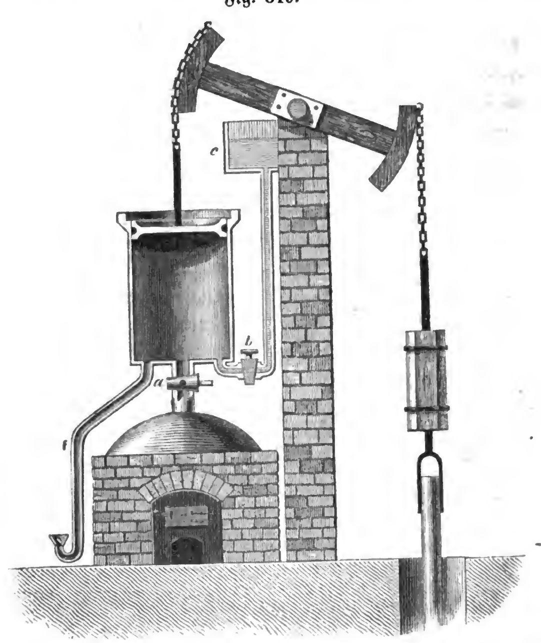
a

b

Zu demselben Zwecke wurde auch Newkomen's atmosphärische Maschine angewandt, welche Fig. 319 (auf folgender Seite) abgebildet ist 149

Ein Cylinder ist durch eine Röhre mit dem Dampfkessel verbunden, die Verbindung kann jedoch durch einen Hahn *a* nach Belieben unterbrochen

Fig. 319.



und wiederhergestellt werden. In dem Cylinder bewegt sich ein Kolben luftdicht auf und ab. In unserer Zeichnung hat er gerade seine höchste Stellung erreicht. Wenn der Kolben durch den aus dem Kessel kommenden Dampf in die Höhe getrieben worden ist, wird der Hahn *a* geschlossen, dagegen ein zweiter Hahn *b* geöffnet, durch welchen nun kaltes Wasser aus dem Reservoir *c* in den Cylinder eingespritzt wird. Dieses kalte Wasser condensirt die Dämpfe im Cylinder, und der von außen auf den Kolben wirkende Druck der atmosphärischen Luft treibt ihn nieder, wie wir dies ja schon an dem Apparate Fig. 317 gesehen haben.

Die auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens soll aber eine auf- und niedergehende Bewegung einer Pumpenstange bewirken, und dies geschieht auf folgende Weise. An dem Kolben ist eine Kette befestigt, welche an dem einen Arme eines Balanciers angehängt ist, an dessen andern Arme eine ähnliche Kette mit der Pumpenstange hängt. Durch den Niedergang

des Kolbens wird offenbar die Pumpenstange gehoben. Wenn aber die Kraft des Dampfes den Kolben aufwärts treibt, so kann sich diese Bewegung nicht dem Balancier mittheilen, weil die biegsame Kette dieselbe nicht fortpflanzt. Der Niedergang der Pumpenstange kann nur dadurch bewirkt werden, daß die Pumpenstange so schwer ist, daß sie durch ihr eigenes Gewicht niedergeht, wenn auf der andern Seite des Balanciers keine Kraft entgegenwirkt.

Das Wasser, welches in den Cylinder eingespritzt wird, muß mit dem durch Condensation des Dampfes entstandenen fortgeschafft werden, indem sich sonst bald der ganze Cylinder mit Wasser füllen würde. Der Abfluß des Wassers aus dem Cylinder findet nun durch die Röhre *f* Statt, deren unteres Ende, in ein Reservoir mit Wasser eintauchend, mit einem Ventil versehen ist, welches sich nach Außen öffnet, nach Innen aber schließt. Während der Kolben aufwärts getrieben wird, ist die Tension der Dämpfe im Cylinder größer als der Druck der Atmosphäre. Dieser Druck der Dämpfe drückt nun das Wasser, welches sich im Cylinder befindet, durch die Röhre *f* (Fig. 319) hindurch gegen das erwähnte Ventil, welches sich öffnet, um das Wasser austreten zu lassen; sobald aber die Dämpfe condensirt werden, erhält der atmosphärische Druck das Uebergewicht und schließt das Ventil am Ende der Röhre *f*, so daß kein Wasser hier eindringen kann.

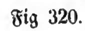
Die Wassermenge, welche durch jeden Hub der Pumpenstange gefördert werden kann, hängt natürlich von der Größe des Kolbens ab. Bekanntlich drückt die Atmosphäre auf jedes Quadratcentimeter Oberfläche mit einer Kraft, welche ungefähr dem Gewichte von 1 Kilogramm gleich ist. Wenn nun die Oberfläche des Kolbens 1000 Quadratcentimeter betrüge, so würde noch ein Niedergang des Kolbens erfolgen, wenn die Pumpenstange sammt der zu hebenden Wassermasse ein Gewicht von 1000 Kilogr. hat, vorausgesetzt, daß im Cylinder ein vollkommenes Vacuum erzeugt werden könnte, was nun freilich nicht der Fall ist.

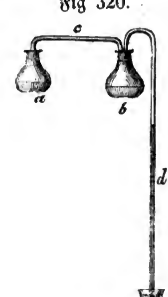
Bei dieser Maschine, wie sie Newkomen construirt hatte, war stets eine Person beschäftigt, um die Hähne *a* und *b* zur gehörigen Zeit zu drehen. Ein zu diesem Geschäfte angestellter Knabe, Humphry Potter, welchem die einförmige Handhabung der Ventile langweilig war, ersann ein Mittel, das Oeffnen und Schließen der Hähne durch die Maschine selbst bewirken zu lassen, wodurch wieder ein großer Schritt zur Vervollkommnung der Dampfmaschinen vorwärts gethan war. Potter band Schnüre an die Hebel, durch welche die Hähne gedreht wurden, und führte sie zum Balancier, an welchem er sie dergestalt befestigte, daß derselbe, wenn er sich hob und senkte, die Schnüre anzog und die Hähne mit der größten Regelmäßigkeit öffnete und schloß.

Newkomen's Maschinen erhielten den Namen atmosphärische, weil das Heben des Wassers durch den Druck der Atmosphäre auf den Kolben bewirkt wurde. Sie waren sehr verbreitet und zwar nicht allein in England, sondern auch auf dem Continente.

Im Vergleich zum verbrauchten Brennmaterial giebt die atmosphärische Maschine doch nur einen sehr geringen Nutzeffect, es wird eine bedeutende Menge Wärme nutzlos verschwendet. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Um eine möglichst vollkommene Condensation der Dämpfe im Cylinder zu erhalten, muß eine ziemlich bedeutende Menge kalten Wassers eingespritzt werden, dadurch aber werden die Cylinderwände selbst erkaltet. Wenn nun der Hahn *b* geschlossen und *a* wieder geöffnet wird, so kommen die aus dem Kessel aufsteigenden Dämpfe mit den kälteren Wänden in Berührung, sie werden verdichtet und können mithin nichts zur Hebung des Kolbens beitragen, eine bedeutende Menge Dampf wird also lediglich dazu verschwendet, die Cylinderwände allmälig wieder zu erwärmen, damit diese Wärme beim abermaligen Niedergange des Kolbens wieder verloren geht.

150 Jakob Watt war im Winter 1763 beauftragt worden, das Modell einer atmosphärischen Maschine, welches der Universität zu Glasgow gehörte, auszubessern. Als er mit dem Modell Versuche anstellte, sah er ein, daß die Maschine bei weitem mehr Dampf verbrauche, als zum Spiele des Kolbens nöthig sei. Er sann darüber nach, wie dem Uebelstande abzuhelfen sei, und kam auf den glücklichen Gedanken, einen von dem Cylinder abgesonderten Condensator anzubringen, und somit war der erste Schritt in der glänzenden Laufbahn gethan, die Watt's Namen unsterblich macht.


Fig 320.



Die Function des Condensators läßt sich durch den Fig. 320 abgebildeten einfachen Apparat recht anschaulich machen. Zwei Glaskölbchen *a* und *b*, welche beide etwas Aether enthalten, sind durch eine Röhre *c* verbunden; durch den Kork, welcher *b* verschließt, geht eine zweite abwärts gebogene Röhre *d*. Wenn man den Aether in *a* und *b* ins Kochen bringt (es geschieht dies am besten dadurch, daß man sie in heißes Wasser taucht), so entweichen die Dämpfe durch die Röhre *d* (Fig. 320) und nehmen die Luft aus dem Apparate mit fort. Nun taucht man das untere Ende der Röhre *d* in ein Gefäß mit Quecksilber und entfernt die Wärmequellen, welche den Aether ins Kochen gebracht hatten. Alsbald wird *a* und *b* bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet seyn, die Spannkraft der Dämpfe im Apparat nimmt dabei bis zu

einer bestimmten Grenze ab, und das Quecksilber steigt demnach in der Röhre *d* bis zu einer bestimmten Höhe. Wäre z. B. die Temperatur der umgebenden Luft 20°, so wäre die Spannkraft der Dämpfe im Apparate 378mm, das Quecksilber müßte also in der Röhre bis zu einer Höhe von 382 mm steigen. Wenn man nun die eine der beiden Kugeln, etwa *a*, in kaltes Wasser taucht, so wird das Quecksilber in der Röhre *d* augenblicklich gerade so steigen, als ob man auch die Kugel *b* und den ganzen Apparat eben so stark erkaltet hätte. Hätte z. B. das kalte Wasser, in welches der Kolben *a* eingetaucht wurde, die Temperatur von 10° gehabt, während die der Luft 20° beträgt, so würde die Quecksilbersäule in der Röhre *d* von 382mm schnell noch um 141, also zu einer Höhe von 523mm gestiegen seyn, weil die Spannkraft des gesättigten Aetherdampfes für die Temperatur von 10° gleich 237mm ist. Kurz, dadurch, daß der Ballon *a* erkaltet wird, werden hier die Dämpfe condensirt und die Tension der Dämpfe im ganzen Apparate gerade um eben so viel verringert, als ob der ganze Apparat eben so stark erkaltet worden wäre, obgleich die Temperatur der Wände des Ballons *b* und des übrigen Apparates, *a* ausgenommen, nicht geändert wurde. Der Ballon *a* spielt hier die Rolle eines Condensators, eines Verdichters der Dämpfe.

Denken wir uns mit dem Cylinder einen luftdicht verschlossenen Raum durch eine Röhre in Verbindung gesetzt, welcher eben so wie der Cylinder selbst mit Dampf erfüllt ist; nun werde in diesen Raum, den Condensator, kaltes Wasser eingespritzt, so werden hier die Dämpfe verdichtet, hier und im Cylinder selbst wird die Spannkraft der Dämpfe in gleichem Maaße vermindert, ohne daß dadurch die Cylinderwände im mindesten erkaltet werden.

Um das Wasser aus dem Condensator wegzuschaffen, brachte Watt eine Pumpe an, deren Stange an den Balanciers angehängt und also durch die Maschine selbst in Bewegung gesetzt wurde. Es folgte nun eine Verbesserung auf die andere, bis endlich die Wattische Dampfmaschine vollendet dastand, wie wir sie in Fig. 321 dargestellt sehen.

Der Cylinder *A* ist sowohl unten als oben luftdicht verschlossen, so daß von keiner Seite die atmosphärische Luft auf den Kolben *C* drücken kann. Der Dampf, welcher aus dem Kessel durch die Röhre *Z* der Maschine zugeführt wird, tritt abwechselnd bei *E* und bei *D* in den Cylinder. Wie diese Abwechselung hervorgebracht wird, werden wir bald ausführlicher betrachten. In der Stellung der Maschine, wie sie unsere Figur zeigt, tritt der Dampf oben bei *E* ein. Der Dampf im untern Theile des Cylinders entweicht bei *D*, um durch die Röhre *H* nach dem Condensator *I* zu gelangen, wo er verdichtet wird; oben drückt also der Dampf auf den Kol-

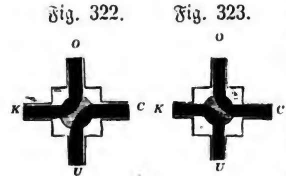
ben *C*, unter demselben ist ein verdünnter Raum, der Kolben ist also im Niedergange begriffen.

Man hat verschiedene Vorrichtungen ersonnen, um zu machen, daß der

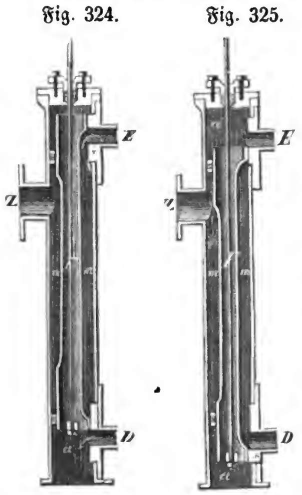
Fig. 321.

Dampf abwechselnd oben und unten in den Cylinder eintritt, während der Dampf von der andern Seite des Kolbens nach dem Condensator entweicht. Die einfachste dieser Einrichtungen ist der **Vierweghahn**, ein Hahn, welcher durchbohrt ist, wie Fig. 322 zeigt. Die Röhre *K* führe nach dem Kessel, *C* nach dem Condensator, *O* nach dem obern, *U* nach dem untern Theile des Cylinders. Wenn nun der Vierweghahn die Stellung Fig. 322 hat, so strömt der Dampf aus dem Kessel in den obern Theil des Cylinders, während der untere Theil desselben durch die Röhren *U* und *C* mit dem Condensator verbunden ist. Ist der Kolben im Cylinder unten angekommen, so wird der Vierweghahn durch eine Viertelumdrehung

Fig. 322. Fig. 323.



in die Stellung Fig. 322 gebracht. Nun sind die Röhren K und U verbunden, der Dampf strömt also unten ein, aus dem obern Theile des Cylinders entweicht er aber durch die Röhren O und C nach dem Condensator, jetzt also findet eine aufwärts gerichtete Bewegung des Kolbens Statt.

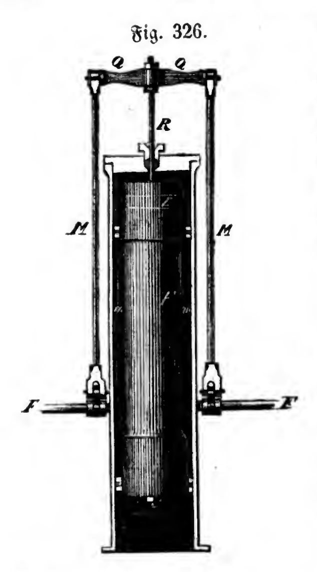


Der Vierweghahn hat sich für größere Maschinen nicht als praktisch bewährt; man kann nämlich die Kanäle des Hahns nicht leicht weit genug machen, damit sie die nöthige Menge Dampf durchlassen. Am häufigsten wendet man jetzt das Schieberventil an, welches auch in unserer Maschine angebracht, und welches Fig. 324 u. 325 in seinen beiden äußersten Stellungen in größerm Maaßstabe dargestellt ist. Durch die Röhre Z gelangt der Dampf in ein Behälter, aus welchem die Röhren D und E nach dem Cylinder führen. Dies Behälter ist nun durch den Schiebkasten F in zwei ganz abgesonderte Räume getheilt. Der mittlere Theil m des Behälters nämlich ist von dem obern a' und dem untern a gänzlich abgeschlossen, die Räume a' und a aber sind durch die Höhlung des Schiebkastens selbst verbunden. In den Raum m strömt nun stets der Dampf aus dem Kessel, die Räume a' und a sind fortwährend mit dem Condensator in Verbindung. Hat das Schiebkastenventil die Stellung Fig. 324, so strömt der Dampf aus m durch den Kanal E oben in den Cylinder ein; durch den Kanal D aber gelangt der Dampf unter den Kolben nach a und von da nach dem Condensator. Hat aber der Schiebkasten die Stellung Fig. 325, so strömt der Dampf aus m durch D von unten in den Cylinder ein, der Dampf über dem Kolben aber geht durch E nach a', von da durch den Schiebkasten hindurch nach a, um endlich in den Condensator zu gelangen.

Damit man sich von dem Schieberventil eine ganz richtige Vorstellung machen könne, ist dasselbe in Fig. 326 in der Richtung von Z her gesehen dargestellt. Die Art und Weise, wie der Schieber durch die Maschine selbst auf- und niedergezogen wird, soll weiter unten noch betrachtet werden.

Der Condensator I, Fig. 321, steht in einem zum Theil mit kaltem Wasser gefüllten Behälter, aus welchem dasselbe fortwährend durch eine Oeff-

Fig. 326.



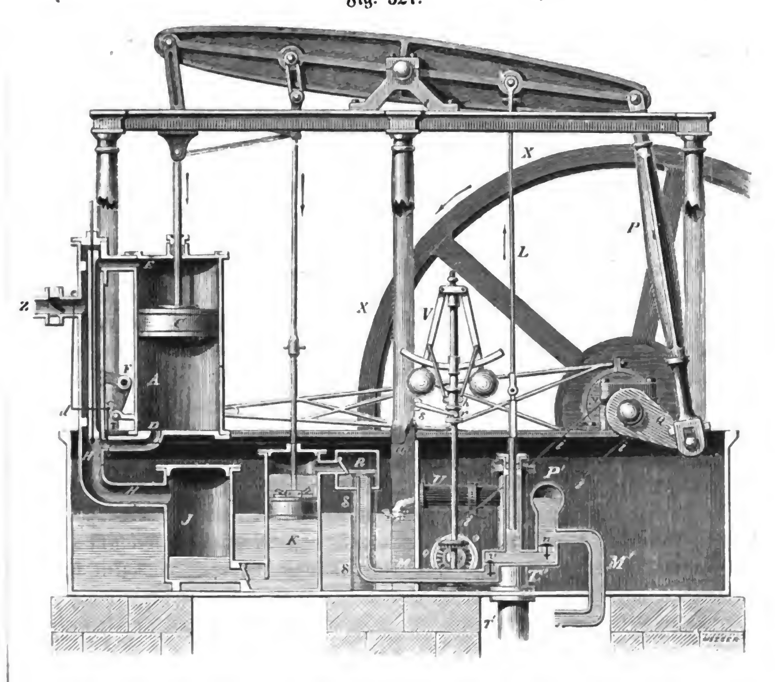
nung, die in unserer Figur nicht sichtbar ist, in den Condensator einströmt. Die Menge des hier einströmenden Wassers kann durch einen Hahn nach Bedürfniß vermehrt oder vermindert werden. Durch die Pumpe *K* wird das Wasser aus dem Condensator fortgeschafft. — Bekanntlich ist in allem Wasser immer mehr oder weniger Luft absorbirt, die im Dampfkessel frei wird und mit den Wasserdämpfen den Weg durch die Maschine in den Condensator macht. Ebenso entwickelt sich Luft aus dem kalten Wasser, welches in den Condensator einströmt. Die Wasserdämpfe werden hier verdichtet, während diese Luft im gasförmigen Zustande bleibt. Diese Luft würde sich nun nach und nach im Condensator anhäufen und so die Erzeugung eines Vacuums auf der einen Seite des Kolbens unmöglich machen, wenn sie nicht ebenfalls durch die Pumpe *K* fortgeschafft würde, die eben deshalb auch den Namen der Luftpumpe führt.

Durch die Luftpumpe wird das Wasser aus dem Condensator in den Behälter *R* gebracht, aus welchem es größtentheils durch die Röhre *S* abfließt. Die Wärme, welche beim Verdampfen des Wassers im Kessel gebunden wurde, wird bei der Verdichtung der Dämpfe im Condensator wieder frei; diese frei werdende Wärme erhöht die Temperatur des in den Condensator eingespritzten kalten Wassers; das durch die Pumpe *K* nach *R* geschaffte Wasser ist also warm; es ist deshalb vortheilhaft, dieses Wasser anstatt des kalten zur Speisung des Dampfkessels anzuwenden. Das zur Speisung des Kessels nöthige Wasser gelangt durch die Röhre *M* zu einer Pumpe, welche es durch die Röhre *M'* zum Kessel schafft. Diese Pumpe wird, wie auch die Luftpumpe, durch die Maschine selbst in Bewegung gesetzt; die Pumpenstange *L* ist nämlich an den Balancier angehängt und wird gehoben, wenn der Kolben *C* niedergeht; niedergedrückt, wenn *C* aufsteigt. Wenn der an der Stange *L* befestigte Kolben der Warmwasserpumpe in die Höhe geht, so öffnet sich das Saugventil *v*, beim Niedergange des Kolbens öffnet sich das Ventil *n*.

Auf der andern Seite des Balanciers ist gerade hinter *L* eine andere

Pumpenstange angebracht, durch welche kaltes Wasser in die Röhre T' ge-

Fig. 327.



hoben und durch die U in das Behälter gebracht wird, in welchem der Condensator steht.

Betrachten wir nun, wie die auf- und niedergehende Bewegung des 151 Kolbens C fortgepflanzt wird.

Die Kolbenstange bewegt sich luft- und dampfdicht durch die Stopfbüchse, welche sich in der Mitte des obern Deckels des Cylinders befindet; sie ist durch ein System beweglicher Stangen, welches den Namen des Parallelogramms führt, mit dem einen Ende des Balanciers verbunden. Der Zweck dieses Parallelogramms ist kein anderer, als eine vollkommen vertikale Bewegung der Kolbenstange zu sichern, was ganz unmöglich wäre, wenn die Kolbenstange direct an das Ende des Balanciers befestigt wäre; sie würde in diesem Falle abwechselnd etwas links und rechts gezerrt werden, und in Folge dessen würde die Stopfbüchse so leiden, daß bald der luftdichte Verschluß aufhören müßte.

Das eine Ende des Balanciers wird durch die Kolbenstange abwechselnd auf- und niedergezogen, das andere Ende des Balanciers hat aber stets die entgegengesetzte Bewegung, d. h. wenn der Kolben C steigt, geht der rechte Arm des Balanciers nieder, und umgekehrt. Die auf- und niedergehende Bewegung des Balanciers wird durch die Treibstange P und die Kurbel Q in eine stetige kreisförmige Bewegung umgewandelt. Die Achse der Kurbel Q ist die Hauptachse der Maschine, welche in Bewegung gesetzt werden soll; um diese Axe dreht sich auch das Schwungrad X.

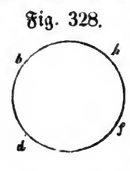
Die Bewegung des Kolbens C ist sehr ungleichförmig. Da derselbe am obern und untern Ende des Cylinders zur Ruhe kommt und dann seine Bewegung umkehrt, so ist begreiflich, daß er seinen Lauf nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit zurücklegen kann. Seine Geschwindigkeit ist am größten, wenn er eben die Mitte des Cylinders passirt, sie nimmt um so mehr ab, je mehr er sich einem Ende des Cylinders nähert. Betrachten wir nun die Bewegung der Kurbel, so finden wir, daß bei gleichförmiger Umdrehungsgeschwindigkeit die Bewegung in vertikalem Sinne dennoch sehr veränderlich ist. Der Kurbelarm steht wagerecht, wenn der Kolben C sich in der Mitte des Cylinders befindet, in diesem Momente hat die Bewegung der Kurbel eine vertikale Richtung; wenn aber der Kolben C seine höchste oder tiefste Stellung hat, so bewegt sich die Kurbel in horizontaler Richtung. Der vertikale Antheil der Kurbelbewegung ist der Bewegung des Kolbens ganz gleich, in dem Maaße, in welchem die Kurbelbewegung mehr horizontal wird, nimmt die Geschwindigkeit des Kolbens ab, ohne daß dadurch eine Verminderung in der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kurbel erfolgte.

Der Durchmesser der Kurbelbahn ist begreiflicherweise der Höhe des Cylinders, die Dicke des Kolbens abgerechnet, gleich, vorausgesetzt, daß die beiden Arme des Balanciers gleiche Länge haben; die Länge des Kurbelarms ist demnach der halben Hubshöhe des Kolbens gleich.

Das Schwungrad X dient dazu, die Bewegung der Maschine gleichförmig zu erhalten. Wenn auch der Druck des Dampfes auf den Kolben ganz unveränderlich wäre, so würde er doch nicht bei allen Stellungen der Kurbel gleichviel zu deren Umdrehung beitragen können. In der That kann man den Druck, welcher durch die Treibstange P auf die Kurbel wirkt, in zwei zu einander rechtwinklige Kräfte zerlegt denken, die eine in der Richtung der Kurbel selbst, als Druck auf die Achse wirkend, trägt nichts zur Umdrehung bei; diese wird ganz allein durch die andere tangential zur Kurbelbahn wirkende hervorgebracht. Die Größe dieser beiden Kräfte ändert sich aber in jedem Momente. Wenn der Kurbelarm vertikal steht, wirkt jeder Druck, welcher vom Kolben ausgeht, einzig und allein als Druck auf die Kurbelachse. Wenn in dieser Stellung die Maschine still-

stände, so würde der größte Druck auf den Kolben sie nicht in Bewegung setzen können; daß also die Maschine, indem sie in diese Stellung kommt, nicht absolut stillstehen bleibt, rührt einzig und allein daher, daß die einzelnen Maschinentheile vermöge ihrer Trägheit ihre Bewegung fortsetzen, gerade so wie ein Pendel, wenn es in der Ruhelage ankommt, doch vermöge seiner Trägheit die Bewegung fortsetzt. Hat einmal die Kurbel die vertikale Stellung passirt, so wird derjenige Antheil des durch P fortgepflanzten Druckes, welcher die Umdrehung der Kurbel bewirkt, mehr und mehr wachsen und erreicht sein Maximum, wenn der Kurbelarm wagerecht ist. Die Kraft also, welche die Kurbel umdreht, variirt beständig, während einer ganzen Umdrehung wird sie zweimal Null, wenn nämlich der Kurbelarm seine höchste und seine tiefste Stellung einnimmt, und zweimal erreicht sie ein Maximum. Untersucht man nun die Bewegung, welche durch eine so wechselnde Kraft hervorgebracht wird, so sieht man leicht ein, daß sie nur eine abwechselnd beschleunigte und verzögerte seyn kann. Der Kreis Fig. 328 stelle die Kurbelbahn vor, so sieht man, daß während der Bewegung von b bis d eine Beschleunigung erfolgt, weil hier die bewegende Kraft mit ihrer größten Energie wirkt. Die in den Maschinentheilen gleichsam angehäufte Bewegung muß aber abnehmen, während sich der Kurbelarm von d bis f bewegt, weil unterdeß die bewegende Kraft sehr schwach, ja sogar vollkommen Null wird, und also die Bewegungshindernisse eine Verzögerung bewirken; auf dem Wege von f bis h erfolgt eine neue Beschleunigung, von h bis b eine neue Verzögerung.

Fig. 328.



Diese Abwechselungen in der Kurbelbewegung liegen in der Natur der Sache, absolut können sie nicht vermieden werden. Die Differenzen zwischen der größten und der geringsten Geschwindigkeit werden aber um so kleiner werden, je größer die bewegte träge Masse ist; durch ein hinlänglich großes Schwungrad kann man es dahin bringen, daß diese Differenzen in der Umdrehungsgeschwindigkeit so unbedeutend werden, daß sie keinen nachtheiligen Einfluß mehr haben. Die auf dem Wege von b bis d und von f bis h stärker wirkende Kraft kann keine merkliche Vermehrung der Geschwindigkeit bewirken, weil sie eine sehr bedeutende träge Masse bewegen muß; weil aber im Schwungrade gleichsam eine bedeutende Bewegungsquantität angehäuft ist, so ist doch die Abnahme der Bewegungsquantität, während die Kurbel von d bis f oder von h bis b geht, nicht groß genug, um eine merkbare Verminderung der Geschwindigkeit zu veranlassen.

So gleicht das Schwungrad die Ungleichförmigkeit der Bewegung aus, welche in der Einrichtung der Maschine selbst liegt. Die Arbeit, welche

eine Dampfmaschine zu verrichten hat, welcher Art sie auch seyn mag, setzt nie einen absolut gleichförmigen Widerstand der bewegenden Kraft entgegen, und auch dies würde Ungleichförmigkeiten im Gange der Maschine veranlassen, wenn sie nicht ebenfalls durch das Schwungrad ausgeglichen würden.

Wenn die zu verrichtende Arbeit, der zu überwindende Widerstand im Allgemeinen ab- oder zunimmt, so ist die Folge davon, daß der Gang der Maschine schneller oder langsamer wird. Momentane kurz dauernde Störungen der Art werden schon durch das Schwungrad ausgeglichen; eine allgemeine Verminderung des Widerstandes und der Last aber würde bei unverändertem Zuflusse des Dampfes eine immer zunehmende Beschleunigung des Ganges der Maschine zur Folge haben. Damit nun die Geschwindigkeit nicht über eine gewisse Grenze wachsen kann, muß im Dampfzuflußrohre eine Klappe angebracht seyn, durch deren Drehung dem Dampfe der Weg mehr oder weniger versperrt wird, je nachdem die Klappe mehr und mehr aus der horizontalen Lage (der vollkommnen Oeffnung) in die vertikale (den vollkommnen Verschluß) übergeht. Die Drehung dieser Klappe muß aber durch die Maschine selbst besorgt werden, und dies geschieht durch eine Vorrichtung, welche den Namen Regulator führt.

Um die Umdrehungsaxe des Schwungrades und um eine vertikale Rolle *o* Fig. 327 ist eine etwas gespannte Schnur *i* geschlungen, so daß die Umdrehung der Hauptachse die Umdrehung der Scheibe *o* zur Folge hat. An der Achse der Scheibe *o* ist aber ein vertikales conisches Rad befestigt, dessen Zähne in ein ähnliches horizontal stehendes eingreifen, so daß dieses horizontale Rad um seine vertikale Achse umgedreht wird. Diese vertikale Achse ist in eine Stange verlängert, an deren oberm Ende das conische Pendel *V* angebracht ist.

Das conische Pendel *V* besteht aus zwei schweren Kugeln, welche an dem obern Ende der vertikalen Stange so befestigt sind, daß bei einer raschen Umdrehung dieser Stange die beiden Kugeln vermöge ihrer Centrifugalkraft auseinanderfahren. Die Stangen, an welchen die Kugeln hängen, sind durch die Stäbe mit einer Hülse *h* verbunden, welche den vertikalen Stab umschließt. Sobald die Kugeln auseinanderfahren, wird die Hülse *h* gehoben. Durch das Heben dieser Hülse wird der Winkelhebel *r s a* um die Axe *s* gedreht, die Stange *a b* nach der rechten Seite gezogen, dadurch wird der Winkelhebel *b c d* um die Axe *c* gedreht, wodurch endlich die Stange *e d* niedergezogen wird; *e* aber ist der Endpunkt eines Hebelarms, dessen Drehaxe diejenige Axe ist, um welche sich die Klappe im Rohre *Z* dreht; durch das Niederziehen des Punktes *e* wird die Klappe verschlossen. Das ganze Hebelsystem, von welchem so eben die

Rede war, ist in unserer Figur nur durch Linien angedeutet, weil es sich auf der Vorderseite der Maschine befindet, also hier eigentlich gar nicht sichtbar ist, indem unsere Figur einen Durchschnitt der Maschine darstellt.

152 Das Drehen des Vierweghahns oder das Auf= und Niederziehen des Schieberventils, kurz die Bewegung derjenigen Apparate, welche dazu dienen, den Dampf abwechselnd in den obern oder in den untern Theil des Cylinders zu führen, muß durch die Maschine selbst verrichtet werden. Die Vorrichtung, welche diese Bewegung hervorbringt, wird mit dem Namen der Steuerung bezeichnet.

Der wichtigste Theil der äußeren Steuerung ist die excentrische

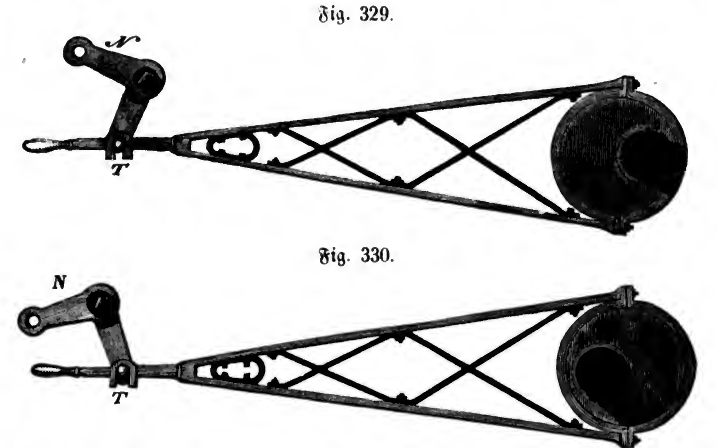


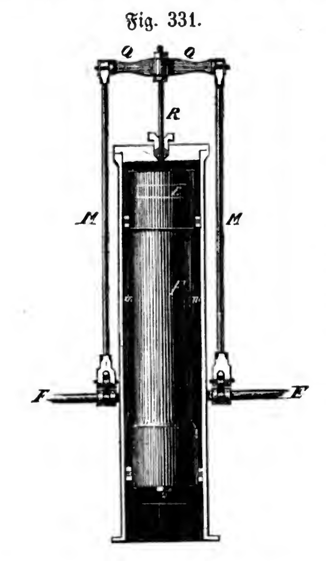
Fig. 329.

Fig. 330.

Scheibe, welche in Fig. 327 mit y bezeichnet ist. Die excentrische Scheibe ist eine kreisförmige Scheibe, welche an der Axe des Schwungrades befestigt ist, deren Mittelpunkt aber nicht mit dem Mittelpunkte der Umdrehung zusammenfällt, wie man aus Fig. 329 deutlicher sehen kann. Während jeder Umdrehung der Axe beschreibt der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe einen Kreis. Um den Umfang der excentrischen Scheibe ist nun ein Ring gelegt, der sich nach der einen Seite in ein Gestänge verlängert, dessen Ende bei T in einen Hebelarm eingreift, der um eine feste Axe F drehbar ist. Die Entfernung des Mittelpunktes der excentrischen Scheibe von T ist unveränderlich, während einer ganzen Umdrehung der Hauptaxe muß also der Hebelarm FT aus der Lage Fig. 329 in die Lage Fig. 330 und zurückkommen, die Sehne des Bogens, welche auf diese Weise den Punkt T beschreibt, ist aber offenbar dem Durchmesser des Kreises gleich, welchen der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe beschreibt.

Die Axe F geht durch die ganze Breite der Maschine durch, wie man dies deutlicher aus Fig. 331 sieht, wo diese Axe in ihrer ganzen Länge erscheint. An dieser Axe sind zwei vollkommen gleiche und parallele Hebelarme N befestigt, welche sich zu beiden Seiten des Behälters befinden, in welchem das Schieberventil eingeschlossen ist. In Fig. 329 sieht man nur den einen derselben, und zwar in seiner wahren Gestalt, in Fig. 331 aber beide verkürzt. An jedem dieser beiden Hebelarme ist eine vertikal nach oben gerichtete Stange M befestigt, und oben sind diese durch eine horizontale Querstange Q verbunden, an deren Mitte die Stange R hängt, an welcher das Schieberventil befestigt ist. Diese Stange geht luft- und dampfdicht durch eine Stopfbüchse in das Behälter des Schieberventils. Die Bewegung des Hebelarms N bewirkt durch die Stangen M eine abwechselnde Hebung und Senkung der Querstange Q, wodurch dann auch das Schieberventil auf- und niedergezogen wird.

Fig. 331.

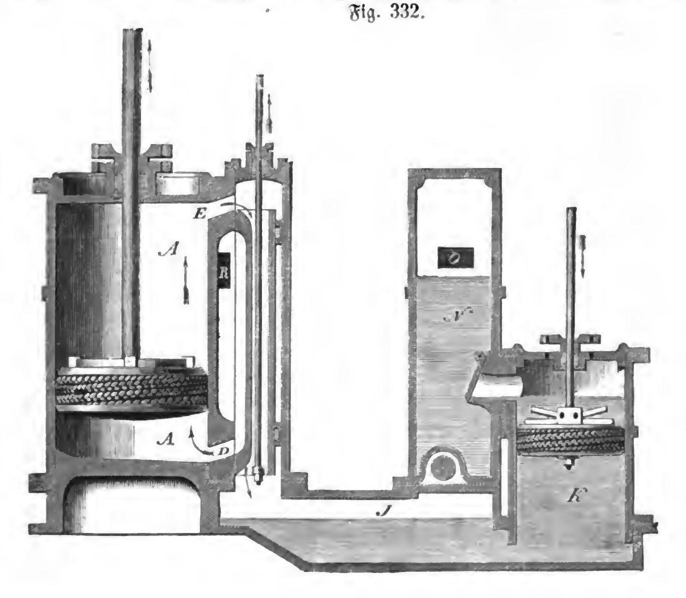


Damit die Bewegung des Schiebkastenventils immer in der richtigen Beziehung zum Gange der Maschine steht, muß sich der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe entweder gerade auf derselben Seite von der Hauptaxe befinden wie die Kurbel, oder ihr diametral gegenüberstehen. Letzteres ist gewöhnlich der Fall, so auch bei der Fig. 327 abgebildeten Maschine. Wenn der Kurbelarm nach oben gerichtet ist, liegt also der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe unter der Hauptaxe; wenn der Kurbelarm nach der linken Seite steht, befindet sich jener Mittelpunkt auf der rechten Seite u. s. w. Betrachten wir die Maschine in einem Momente, in welchem der Kurbelarm gerade horizontal und nach der rechten Seite hin gerichtet ist, so hat der Punkt T, Fig. 327, seine äußerste Stellung links erreicht, das Schieberventil hat aber seine höchste Stellung, der Dampf strömt also durch die vollkommen freie Oeffnung in den Cylinder ein. Fragen wir aber nach der Stellung, welche der Kolben C, Fig. 329, in diesem Momente hat, so finden wir, daß er nach unten gehend gerade die Mitte des Cylinders passirt. Je mehr der Kolben niedergeht, desto mehr steigt der Kurbelarm,

dabei wird aber auch die excentrische Scheibe gedreht, der Punkt T also nach der rechten Seite hingezogen. Anfangs ist diese Bewegung unbedeutend, sie nimmt aber zu, je mehr sich der Kurbelarm der vertikalen Stellung nähert. Hat er diese erreicht, so steht auch der Hebelarm FT, Fig. 329, vertikal, das Schieberventil hat gerade seine mittlere Stellung, es verschließt die beiden Oeffnungen D und E, und der Kolben ist gleichzeitig unten angekommen. Bei fortgesetzter Bewegung beginnt der Kolben alsbald langsam zu steigen, der Kurbelarm bewegt sich mehr nach der linken, die excentrische Scheibe sammt dem Punkte T also mehr nach der rechten Seite, das Schieberventil geht also noch weiter nieder, Dampf beginnt in den untern Theil des Cylinders einzutreten und den Kolben aufwärts zu treiben u. s. w. Kurz, wir sehen, die Oeffnungen E und D sind nur einen Moment vollkommen frei, wenn der Kolben gerade die Mitte des Cylinders passirt, wo er also auch die größte Geschwindigkeit hat. Je mehr die Geschwindigkeit abnimmt, desto mehr werden die Oeffnungen D und E gesperrt, und ein vollkommner Verschluß findet in dem Augenblicke Statt, in welchem der Kolben gerade im obersten oder untersten Endpunkte seines Weges angelangt ist.

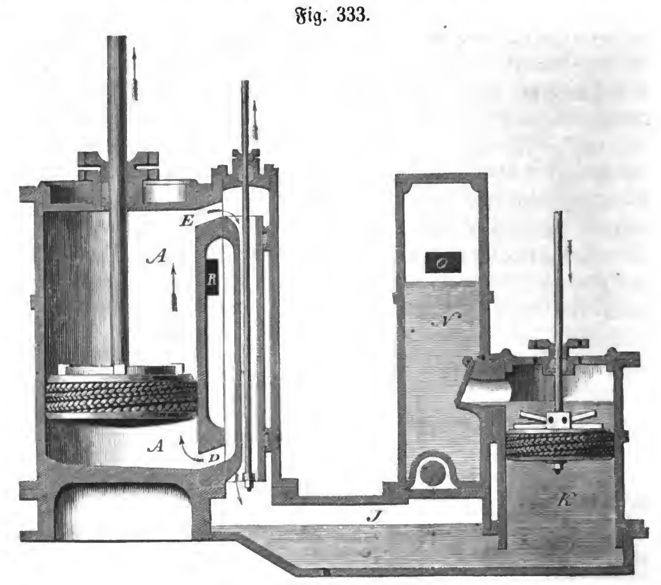
153 Die **Schiffsdampfmaschine** ist im Wesentlichen ganz nach denselben Principien construirt, wie die eben betrachtete **Wattische** Maschine. Fig. 332 stellt den Durchschnitt einer gewöhnlichen Schiffsdampfmaschine dar.

Fig. 332.



Der Dampf kommt durch eine Röhre, die bei *R* in einen neben dem Cylinder befindlichen Raum mündet. Aus diesem Raume dringt der Dampf abwechselnd in den obern und den untern Theil des Cylinders *A*. Diese Abwechselung im Einströmen des Dampfes wird durch ein Schieberventil bewerkstelligt, dessen Einrichtung der auf Seite 375 betrachteten ganz ähnlich ist. Bei der in unserer Figur dargestellten Stellung des Schieberventils tritt der Dampf unten bei *D* in den Cylinder, während der oberhalb des Kolbens befindliche Dampf, bei *E* austretend, durch die

Fig. 333.



innere Höhlung des Schieberventils nach dem Condensator *I* entweicht. Das Wasser aus dem Condensator wird durch die Luftpumpe *K* in den Raum *N* geschafft, aus welchem es durch die Oeffnung *O* abfließt.

Was den äußern Bau der Schiffsmaschine betrifft, so ist eine Verschiedenheit von der bisher betrachteten Maschine dadurch bedingt, daß die Hauptaxe, auf welche die Bewegung des Kolbens übertragen werden soll, die Axe der Schaufelräder ist, deren unterer Theil nur in das Wasser eingetaucht seyn darf. Die Axe dieser Räder muß sich deshalb in einer namhaften Höhe über dem Wasserspiegel befinden. Wollte man aber den Balancier und die Treibstange so anbringen, wie bei der gewöhnlichen

Watt'schen Maschine, so käme diese Axe zu tief zu liegen. Deshalb ist hier der Balancier unten angebracht und die Treibstange nach oben gerichtet.

Fig. 334 zeigt eine Schiffsdampfmaschine im Aufrisse, Fig. 335 im

Fig. 334.

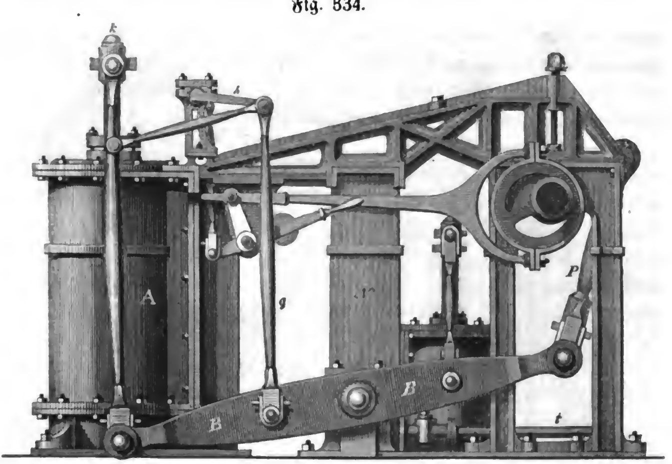
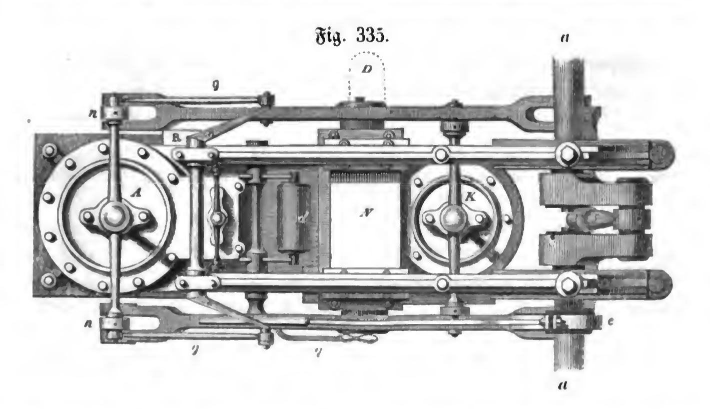


Fig. 335.



Grundrisse. *A* ist der Cylinder. Das obere Ende der Kolbenstange ist an einem horizontalen Querstabe ungefähr so befestigt, wie die Stange *R* an *Q*, Fig. 326. Diese Querstange ist im Grundrisse Fig. 335 ihrer ganzen Länge nach zu sehen. Von den beiden Enden dieser Querstange geht auf

jeder Seite des Cylinders eine Stange nieder, gerade so wie zu beiden Seiten der Stange Q, Fig. 326, die beiden Stangen M hängen. Im Grundrisse sind nur die oberen Enden der Stangen n sichtbar, im Aufrisse aber sieht man nur die vordere derselben. Die Stangen g und h dienen

Fig. 336.

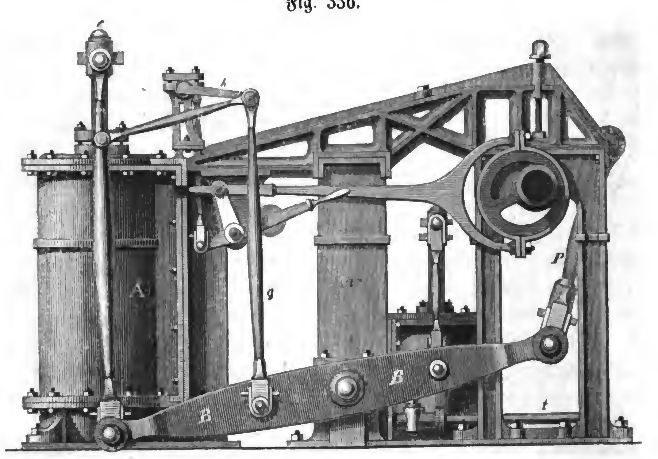
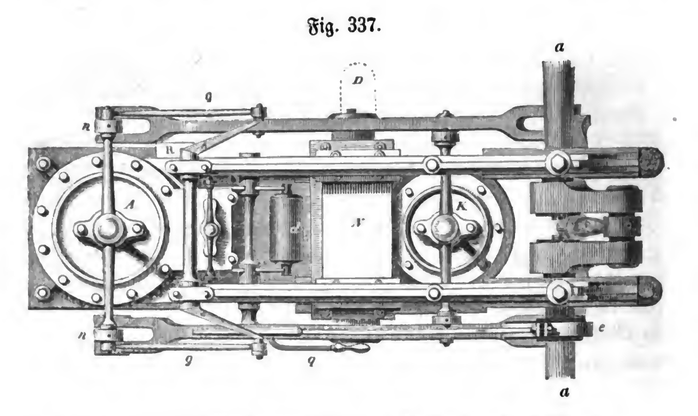


Fig. 337.



nur dazu, um die vertikale Bewegung der Kolbenstange zu sichern.

Der Balancier B ist unten angebracht, und zwar befindet sich auf jeder Seite der Maschine eine solcher Balancier, wie man im Grundrisse sieht. Die beiden Balanciers drehen sich beide um dieselbe Axe, welche durch die

Maschine hindurchgehend auch im Durchschnitte Fig. 333 sichtbar ist. An jeder Seite hat der Balancier ein gabelförmiges Ende, in welchem auf der linken Seite die Stangen *n* befestigt sind, so daß das Auf- und Niedergehen der Stange *n* das linke Ende des Balanciers ebenfalls abwechselnd auf- und niederzieht.

Die Enden auf der rechten Seite der beiden Balanciers sind durch einen starken Querhügel verbunden, in dessen Mitte die nach oben gerichtete Treibstange *P* befestigt ist, deren Eingreifen in die Kurbel namentlich aus dem Grundrisse deutlich zu ersehen ist. Die Axe *a*, welche durch die Kurbel umgedreht wird, ist die Axe der Schaufelräder.

An der Axe *a* ist, wie man im Aufrisse sieht, die excentrische Scheibe befestigt, welche das Auf- und Niedergehen des Schieberventils ganz in der Weise bewirkt, wie wir bei der Watt'schen Maschine gesehen haben. Die Stange der excentrischen Scheibe greift in einen Hebelarm ein, welcher um eine feste Axe drehbar ist. Wie sich die Bewegung um diese zum Schieberventil fortpflanzt, ist bekannt. Man sieht aber in unserm Grundrisse an der Axe noch zwei Hebelarme befestigt, welche einen Cylinder *d* tragen. Dieser Cylinder ist nur ein Gegengewicht gegen die auf der andern Seite der Axe hängende Last des Schieberventils.

Die Stange des Kolbens der Luftpumpe *K* trägt oben ebenfalls einen horizontalen Querstab, von welchem zu beiden Seiten Stangen vertikal heruntergehen, die am Balancier befestigt sind, so daß die auf- und niedergehende Bewegung des Balanciers die Pumpe in Bewegung setzt.

Durch die Röhre *t*, Fig. 336, fließt das Wasser in den Condensator; durch einen Hahn, welcher in der Figur deutlich zu sehen ist, kann man den Wasserzufluß reguliren.

Das Wasser aus *N* fließt durch die Röhre *D* ab, welche Fig. 337 punktirt ist, weil, wenn sie ausgeführt wäre, dadurch die Axe des Balanciers verdeckt würde.

In der Regel stehen auf Schiffen zwei solcher Maschinen neben einander, welche an derselben Axe arbeiten, ihr Gang ist aber so regulirt, daß in der einen der Kolben die Mitte des Cylinders passirt, während der Kolben in der andern oben oder unten ankommt, daß also die Kurbel der einen Maschine eine vertikale Stellung hat, während die Kurbel der andern wagerecht steht. Der Grund davon ist leicht einzusehen.

Man hat auch Schiffsdampfmaschinen ohne Balancier gebaut. Bei diesen steht der Cylinder nicht aufrecht, sondern schräg, so daß seine Axe mit der Horizontalen einen Winkel von 20 bis 25 Grad macht. Denkt man sich die Axe des Cylinders dieser Maschinen verlängert, so trifft diese Verlängerung die Umdrehungsaxe der Schaufelräder. Die Treibstange verbindet unmittelbar die Kolbenstange mit der Kurbel, wie dies

auch bei der Locomotive der Fall ist, die wir bald werden kennen lernen.

Schon Savary machte den Vorschlag, mittelst des durch seine Maschine gehobenen Wassers ein Wasserrad in Bewegung zu setzen, welches wieder die Schaufelräder eines Schiffes umdrehen sollte. Jonathan Hull wollte durch eine Newkomen'sche Maschine ein Schiff in Bewegung setzen; sein Project, von dem jedoch auch nicht viel Erfolg zu erwarten war, kam nicht zur Ausführung. Als Watt die Dampfmaschine vervollkommnet hatte, baute Perrier im Jahre 1775 ein Dampfschiff, dessen Maschine nur eine Pferdekraft hatte, und mit welchem er auf der Seine nur stromabwärts und zwar äußerst langsam fahren konnte. Der Gedanke wurde wieder aufgegeben. Glücklicher war der Marquis von Jouffroy, der 1781 zu Lyon ein großes Dampfschiff baute, um die Saone zu befahren. Seine Versuche würden höchst wahrscheinlich zu einem günstigen Resultate geführt haben, wäre er nicht durch die Revolution, welche ihn auszuwandern nöthigte, an seinem Unternehmen gehindert worden.

Mit besserem Erfolge wurde der Gedanke in Amerika verfolgt. Nachdem daselbst so wie auch in England mehrere erfolglose Versuche gemacht worden waren, war besonders Robert Livingston bemüht, diese Idee in großem Maaßstabe auszuführen. Sein erster Versuch fiel ungünstig aus. Im Jahre 1803 kam er als Gesandter der Vereinigten Staaten nach Paris, wo er sich mit Robert Fulton, gleichfalls einem Nordamerikaner, verband. Fulton hatte schon früher der französischen Regierung die Erbauung eines Dampfschiffes vorgeschlagen und baute 1803 ein solches, mit welchem er die Seine hinabfuhr. Da man auf seine Vorschläge nicht einging, so kehrte er nach Amerika zurück. Im Jahre 1807 baute er ein großes Dampfschiff, Clermont genannt, welches durch eine Dampfmaschine von 20 Pferdekräften, die in der Fabrik von Bulton und Watt verfertigt war, getrieben wurde. In 32 Stunden legte dieses Schiff mit 160 Tonnen Ladung den 120 engl. Meilen weiten Weg von New-York nach Albany zurück. Seit diesem so gelungenen Versuche hat sich die Dampfschifffahrt immer mehr ausgebreitet und vervollkommnet. —

154 In den bis jetzt betrachteten Maschinen war der Condensator ein wesentlicher Theil. Betrachten wir nun, welchen Einfluß die Weglassung des Condensators haben wird? Wenn auf der einen Seite des Kolbens Dampf von einer Atmosphäre Spannkraft wirkt, der Theil des Cylinders aber, welcher auf der andern Seite des Kolbens liegt, nicht mit dem Condensator, sondern mit der freien Luft in Verbindung steht, so ist der Druck des Dampfes auf der einen Seite dem Drucke der atmosphärischen Luft auf

der andern Seite des Kolbens gleich, es ist also keine Bewegung möglich. Um eine solche hervorzubringen, muß die Spannkraft des Dampfes gesteigert werden. Gesetzt, sie sey gleich dem Drucke von zwei Atmosphären geworden, so wird der Effect gerade derselbe seyn, als ob auf der einen Seite des Kolbens ein leerer Raum wäre und auf der andern Seite Dampf von einer Atmosphäre Spannkraft drückte; die Hälfte der gesammten Dampfkraft geht also zur Ueberwindung des Luftwiderstandes verloren. Hätte der wirkende Dampf eine Spannkraft von drei, vier, fünf u. s. w. Atmosphären, so würde ohne Condensator $1/3$, $1/4$, $1/5$ u. s. w. der gesammten Dampfkraft zur Ueberwindung des Luftwiderstandes verloren gegangen seyn. Je größer also die Spannkraft des Dampfes ist, welcher in der Maschine wirkt, ein desto geringerer Antheil der gesammten Dampfkraft geht, wenn man keinen Condensator anwendet, zur Ueberwindung des Luftdruckes verloren. Wenn also der Dampf, welcher die Maschine treiben soll, nur eine Spannkraft von einer Atmosphäre oder etwas mehr hat, so ist der Condensator ganz unentbehrlich; ist aber die Spannkraft des wirkenden Dampfes größer, so kann die Maschine auch ohne Condensator gehen, und zwar ist der Vortheil, den der Condensator noch bringt, um so geringer, je größer die Spannkraft der wirkenden Dämpfe ist. Nun aber verzehren die Widerstände, welche bei der Bewegung der Condensatorpumpe (Luftpumpe) zu überwinden sind, auch einen Theil der Dampfkraft. Bei einer gewissen Größe des Dampfdruckes also wird der Vortheil, welchen der Condensator gewährt, durch die Widerstände in der Luftpumpe wieder aufgehoben; es ist also in diesem Falle ganz gleichgültig, ob man einen Condensator anwendet, oder nicht. Bei Maschinen, die durch stärker gespannten Dampf getrieben werden, würde also der Condensator mehr Nachtheil als Vortheil bringen; man läßt ihn deshalb in diesem Falle ganz weg.

Gewöhnlich nennt man Dampfmaschinen, welche mit einem Condensator arbeiten, *Niederdruckmaschinen*, diejenigen aber, bei welchen der Condensator fehlt, heißen *Hochdruckmaschinen*.

Durch das Wegbleiben des Condensators und der Luftpumpe sind die Hochdruckmaschinen weit einfacher als die Niederdruckmaschinen, und um gleichen Effect hervorzubringen, sind die Dimensionen der ersteren immer kleiner als die der letzteren; denn der Gesammtdruck eines Dampfes von 4 Atmosphären Spannkraft auf eine Fläche von 1 Quadratfuß ist ja ebenso groß als der Gesammtdruck eines Dampfes von 1 Atmosphäre Spannkraft auf einer Fläche von 4 Quadratfuß. Aus diesem Grunde wendet man die Hochdruckmaschinen überall da an, wo es darauf ankommt, eine Maschine von bedeutender Kraft auf einen kleinen Raum zu bringen.

Eine der bekanntesten und interessantesten Hochdruckmaschinen ist die *Locomotive*, wie sie auf unseren Eisenbahnen gebraucht wird. Eine

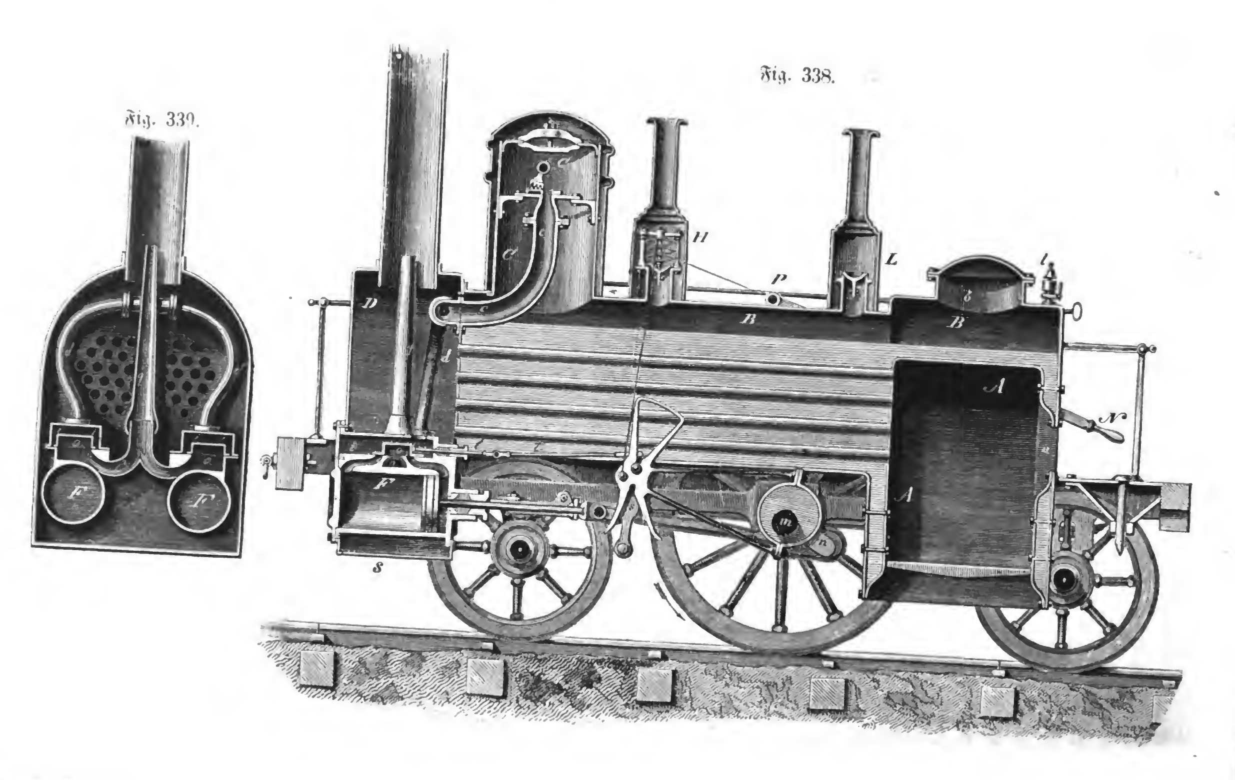


Fig. 338.

Fig. 339.

solche Locomotive ist Fig. 338 dargestellt. A ist der Feuerraum. Das Brennmaterial wird durch die Oeffnung a, die durch eine Thür geschlossen werden kann, auf den Rost geworfen. Von dem Feuerraume A ist aber für die erhitzte Luft kein Ausweg als eine Reihe horizontaler Röhren, welche von A nach D führen; von D geht die erhitzte Luft mit dem Rauche durch den Schornstein in die Höhe. In Fig. 339 sieht man, wie die Röhren neben und über einander liegen. Diese Röhren gehen nun mitten durch einen mit Wasser angefüllten Raum; außerdem ist der Feuerraum selbst von allen Seiten mit Wasser umgeben. Durch die außerordentlich große Feuerfläche, mit welcher auf diese Weise das Wasser in Berührung ist, bildet sich in jedem Augenblicke eine bedeutende Dampfmenge. Die Dämpfe sammeln sich über dem Wasser in dem mit B und C bezeichneten Raume; von C werden sie durch die Röhre c dem Cylinder zugeführt. Läge die Mündung der Röhre c tief, so würde durch das heftige Kochen viel Wasser mechanisch in die Röhre c und von da in die Cylinder mit fortgerissen werden. Um dies zu verhindern, ist der Dampfraum bei C erhöht. Die Röhre c theilt sich bald in zwei andere, d und d', wie man dies deutlich aus Fig. 339 sieht. In Fig. 338 ist nur eine dieser Röhren, nämlich d, sichtbar. Jede führt zu einem Behälter i, aus welchem der Dampf in die Cylinder F tritt. Auf jeder Seite des Wagens liegt ein Cylinder, wie man Fig. 339 sieht, von diesen Cylindern ist in Fig. 338 nur der eine, nämlich der vordere, sichtbar. Er ist hier im Längendurchschnitte dargestellt, die Durchschnittfläche aber fällt nicht mit der der ganzen übrigen Figur zusammen, sondern liegt vor derselben. Die Cylinder liegen horizontal, und der Kolben sammt den Kolbenstangen gehen in einer horizontalen Richtung hin und her. Von dem Behälter i, in welches der Dampf durch die Röhren c und d geleitet wird, gehen zwei Kanäle zu dem einen und dem andern Ende des Cylinders. Auf der untern Grenzfläche des Behälters i wird ein Schieber hin und her bewegt, dessen mittlerer Theil einen Kasten o bildet, welcher nach unten offen ist. In der Stellung, welche Fig. 338 zeigt, sind durch diesen Schieber beide Kanäle verschlossen. Denken wir uns denselben so weit links geschoben, daß der Kanal links nicht mehr verschlossen ist, sondern in die Höhlung o mündet, so würde der Kanal rechts mit dem Dampfbehälter i in Verbindung stehen; bei dieser Stellung des Schiebers also würde der Dampf auf der rechten Seite in den Cylinder eintreten, also den Kolben nach der linken treiben, während der Dampf von der linken Seite des Kolbens durch den Kanal links in den Kasten o und von da durch die Röhren p und q in den Schornstein gelangt. Wenn aber der Schieber seine äußerste Stellung rechts hat, so strömt der Dampf von i durch den Kanal links in den Cylinder, und auf der andern Seite entweicht er durch den Kanal rechts in den Kasten.

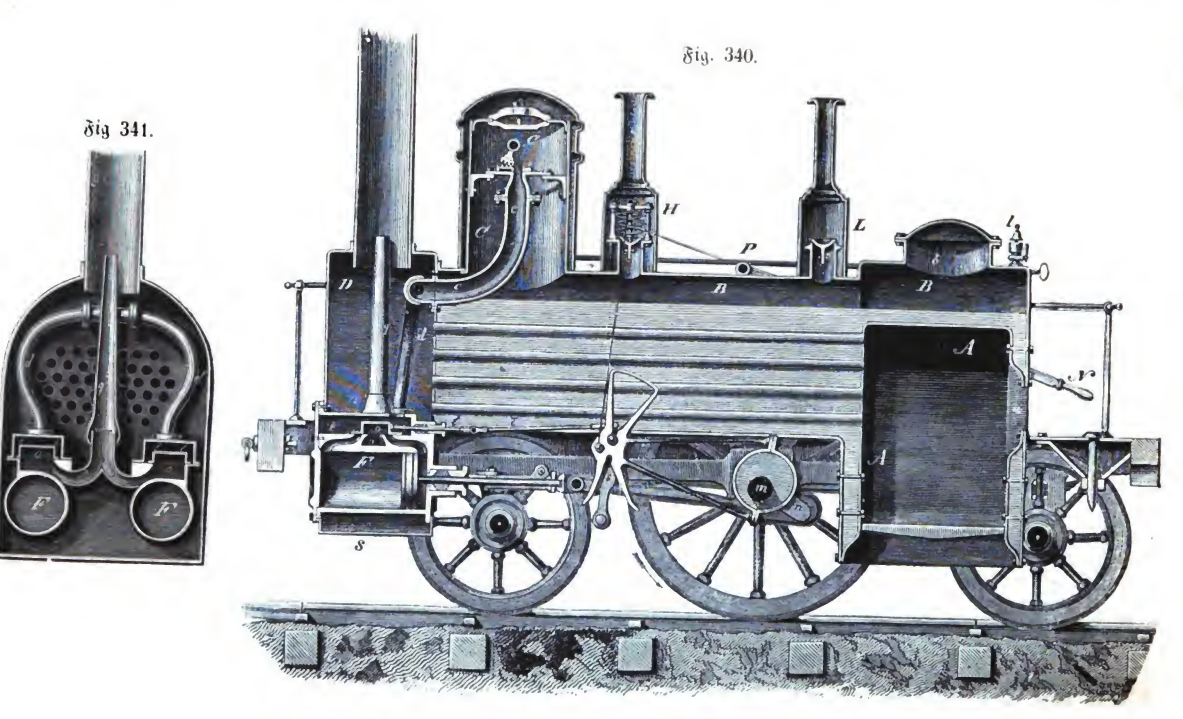


Fig. 340.

Fig 341.

Die Kolbenstange ist durch sogenannte Coulissen festgehalten, d. h. sie ist durch dieselben verhindert, von ihrer Bahn abzuweichen, so daß sie nur in einer und derselben geraden Linie hin- und hergehen kann. An der Kolbenstange ist unmittelbar die Treibstange befestigt, welche die Kurbel *n* um die Axe *m* umdreht. An der Axe *m* sind aber auch die mittleren Räder des Wagens befestigt, so daß also durch jeden Hin- und Hergang des Kolbens eine ganze Umdrehung des Rades erfolgt; bei jedem Hin- und Hergange des Kolbens geht also der Wagen um eine Strecke weiter, welche dem Umfange der mittleren Räder gleich ist.

An der Axe *m* ist auch die excentrische Scheibe befestigt, durch welche der Schieber im Behälter *i* bewegt wird. Wie wir in unserer Figur sehen, greift das ungefähr X förmige Ende des am Ringe der excentrischen Scheibe befestigten Gestänges am obern Ende eines Hebels ein, dessen Stützpunkt bei *s* ist. Durch die Bewegung dieses Hebels werden aber auch die daran befestigten Stangen *t* und durch diese der Schieber hin und her gezogen.

Um die Bewegung umzusetzen, d. h. um zu machen, daß sich der Wagen rückwärts bewegt, wird der Hebelarm *N* in die Höhe gezogen. Der Stützpunkt dieses Hebels ist bei *P*, wo seine Axe quer über den ganzen Wagen herüber geht. Auf jeder Seite des Wagens ist nun ein Hebelarm befestigt, dessen Richtung mit der Verlängerung von *NP* parallel läuft. In unserer Figur ist diese Richtung nur durch eine Linie angedeutet. Von diesen Hebelarmen gehen Stangen vertikal herunter zu den X förmigen Enden des an der excentrischen Scheibe befestigten Gestänges (da die Maschine zwei Cylinder hat, so muß sie natürlich auch zwei excentrische Scheiben u. s. w. haben). Durch Aufheben des Hebelarms *N* wird nun offenbar das X auf jeder Seite des Wagens niedergedrückt, so daß nun das Gestänge am untern Ende des Hebels angreift, dessen Stützpunkt *s* ist. Je nachdem aber das Gestänge oben oder unten eingreift, muß sich das Rad in der Richtung des Pfeils oder in der entgegengesetzten drehen, wie dies wohl durch folgende Betrachtung klar wird. Denken wir uns den Kolben in der Mitte des Cylinders und den Kurbelarm *n* vertikal nach oben gerichtet, so hat der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe (welcher hier um 90^0 von der Richtung der Kurbel absteht) sammt dem Gestänge und dem X seine äußerste Stellung links. Greift nun das Gestänge oben in den um *s* drehbaren Hebel ein, so hat auch das obere Ende dieses Hebels und mit ihm der Schieber im Behälter *i* seine äußerste Stellung links, der Dampf tritt also auf der rechten Seite in den Cylinder, um den Kolben mit der Treibstange und der Kurbel *n* nach der Linken zu bewegen, das Rad dreht sich also in der Richtung des Pfeils. Griffe aber das X unten an dem Hebel an, so hätte sein unteres Ende

die äußerste Stellung links, das obere Ende also mit dem Schieber seine äußerste Stellung rechts, der Dampf würde also auf der Linken in den Cylinder treten, um den Kolben mit der Kurbel nach der Rechten zu treiben, das Rad müßte sich also gegen den Pfeil bewegen.

H und *L* sind Sicherheitsventile, *l* ist ein Pfeifchen, welches zu Signalen dient.

155 Der Effect, welchen eine Dampfmaschine hervorzubringen im Stande ist, die Kraft der Maschine, hängt von der Wassermenge ab, die in einer gegebenen Zeit im Kessel in Dampf verwandelt wird; untersuchen wir deshalb, welche Wirkung 1 Liter Wasser in Dampfform hervorzubringen im Stande ist. — Nehmen wir an, die Kolbenfläche betrage 1 Quadratdecimeter, die Höhe des Cylinders (die Hubshöhe) aber sey 10 Decimeter, so ist der Inhalt des Cylinders 10 Kubikdecimeter oder 10 Liter; um also den Kolben von unten bis oben zu treiben, müssen 10 Liter Dampf aus dem Kessel in den Cylinder übergehen. Wenn nun der Dampf eine Spannkraft von einer Atmosphäre hat, so ist der Druck, den er auf jedes Quadratcentimeter der Kolbenfläche ausübt, ungefähr 1 Kilogramm, der Gesammtdruck auf den ganzen Kolben beträgt demnach 100 Kilogramme; wenn also gar keine Bewegungshindernisse vorhanden wären, so könnte man den Kolben mit 100 Kilogrammen belasten, und diese 100 Kilogramme würden 10 Decimeter hoch gehoben, wenn man 10 Liter Wasserdampf von 100 Grad in den Cylinder führt. Der Effect also, den 10 Liter Wasserdampf von 100° hervorbringen können, ist der Hebung von 100 Kilogrammen auf eine Höhe von 10 Decimetern oder der Hebung von 1000 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Decimeter äquivalent. Ein Liter Wasser giebt aber 1700 Liter Wasserdampf von 100°, mit 1 Liter Wasser, in Dampf von 100° verwandelt, kann man also einen Effect hervorbringen, welcher der Hebung von 170000 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Decimeter äquivalent ist.

Um die Kraft der Maschine besser übersehen zu können, vergleicht man sie gewöhnlich mit Pferdekräften. Nimmt man an, daß ein Pferd in 1 Secunde eine Last von 750 Kilogrammen 1 Decimeter hoch heben könne (in der That ergiebt sich aus den besten Beobachtungen über die Arbeit der Pferde, daß sie bei zweckmäßigster Verwendung ihrer Kräfte bei andauernder Arbeit einen Effect hervorbringen, welcher dem erwähnten äquivalent ist), so würde man sagen, daß eine Maschine, in welcher in jeder Secunde so viel Dampf erzeugt wird, als nöthig ist, um 750 Kilogramme 1 Decimeter (oder 500 Pfund 1 Fuß) hoch zu heben, eine Dampfmaschine von 1 Pferdekraft sey.

Nun kann aber der Wasserdampf, welcher aus 1 Liter Wasser erhalten wird, 170000 Kilogramme 1 Decimeter hoch heben; wenn also im Kessel

1 Liter Wasser in $\frac{170000}{750}$, also in 226 Secunden verdampft wird, so ist der Totaleffect, den dieser Dampf in der Maschine hervorbringen kann, einer Pferdekraft gleich. Eine solche Maschine verzehrt also in einer Stunde ungefähr 15 Liter Wasser.

Nicht alle mechanische Kraft des Dampfes kann aber als Nutzeffect angeschlagen werden. Sehr viel geht verloren, weil der Kolben nicht gegen einen absolut leeren Raum drückt, weil die Reibung des Kolbens überwunden werden muß, weil mehrere Pumpen in Bewegung gesetzt werden müssen u. s. w. Alle diese Widerstände verringern den Nutzeffect der Maschine fast auf die Hälfte des oben berechneten.

Einen großen Vortheil hat man bei den Hochdruckmaschinen durch Anwendung der Expansion des Dampfes im Cylinder erlangt, welche dadurch hervorgebracht wird, daß der Zufluß des Dampfes aus dem Dampfkessel in den Cylinder abgesperrt wird, wenn der Kolben erst einen Theil seines Weges, etwa $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ u. s. w. zurückgelegt hat. Daß durch Anwendung des Expansionsprincips bei gleichem Dampfverbrauch ein größerer Effect hervorgebracht wird, läßt sich durch folgende einfache Betrachtung einsehen.

In einen Dampfcylinder ströme während des ganzen Kolbenhubs, wie dies bei gewöhnlichen Maschinen der Fall ist, Dampf ein, dessen Spannkraft wir zu 2 Atmosphären annehmen wollen, so ist am Ende des Kolbenhubs der ganze Cylinder mit Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft gefüllt, und während dieses Kolbenhubs ist ein mechanischer Effect hervorgebracht worden, den wir mit E bezeichnen wollen.

Ließe man nun in denselben Cylinder Dampf von doppelter, also von 4 Atmosphären Spannkraft eintreten, so würde der Druck gegen den Kolben doppelt so groß seyn, und der mechanische Effect E würde schon hervorgebracht worden seyn, wenn der Kolben erst den halben Hub vollendet hat, wenn er in der Mitte des Cylinders angekommen ist. Wird nun in diesem Momente der fernere Zufluß des Dampfes in den Cylinder abgesperrt, so wird der Kolben die übrige Hälfte seines Weges fortsetzen, während der Druck, der ihn treibt, nach und nach bis zur Hälfte abnimmt, denn wenn er am Ende seiner Bahn ankommt, so ist die Spannkraft des Dampfes noch 2 Atmosphären.

Da schon während der ersten Hälfte des Kolbenhubs der mechanische Effect E hervorgebracht worden ist, so ist der ganze Effect, welchen der Dampf während der zweiten Hälfte des Kolbenhubs hervorbringt, während er sich also so ausdehnt, daß seine Spannkraft von 4 Atmosphären bis zu 2 Atmosphären abnimmt, als Gewinn zu betrachten; denn die Quantität des Dampfes, welche am Ende des Kolbenhubs den Cylinder

erfüllt, ist gerade eben so groß, als ob während des ganzen Kolbenhubs Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft angeströmt wäre.

Die Absperrung des Dampfes wird gewöhnlich durch einen besondern Expansionsschieber bewirkt. Bei den gewöhnlichen Maschinen strömt der Dampf aus dem Kessel direct in die Kammer, in welcher sich der Vertheilungsschieber bewegt, um den Dampf bald auf die eine, bald auf die andere Seite des Kolbens treten zu lassen; wir wollen diese Kammer a nennen.

Bei den Expansionsmaschinen befindet sich aber vor dieser gewöhnlich noch eine zweite Kammer b; in der Wand zwischen b und a befindet sich eine Oeffnung, durch welche der Dampf aus b in a eintreten kann; diese Oeffnung wird oben durch einen zweiten in b befindlichen Schieber in den gehörigen Momenten geöffnet und geschlossen. Die Bewegung dieses Expansionsschiebers wird meist durch eine gehörig gestellte excentrische Scheibe ganz in der Weise bewirkt, wie die Bewegung des Vertheilungsschiebers.

Fünftes Kapitel.

Specifische Wärme der Körper.

156 **Mittel die Wärmemengen zu vergleichen.** Wir nehmen als einen für sich selbst einleuchtenden Grundsatz an, daß stets dieselbe Wärmemenge nöthig sey, um dieselbe Wirkung hervorzubringen. Wenn z. B. ein Kilogramm Eisen von 10° durch irgend eine Ursache bis zu einer Temperatur von 11° erwärmt wird, so ist dazu immer ein und dieselbe Wärmemenge nöthig, mag die Wärme nun von der Sonne oder von einem Heerde kommen, mag sie durch Berührung oder durch Strahlung dem Eisen mitgetheilt werden. Ebenso wird stets dieselbe Wärmemenge nöthig seyn, um 1 Kilogramm Eis von 0° zu schmelzen, und so ist denn auch stets eine bestimmte Quantität von Wärme nöthig, um 1 Kilogramm Wasser von 100° zu verdampfen. Die Wärmemengen müssen aber auch dem Gewichte der Substanzen proportional seyn, auf welche sie wirken, um einen bestimmten Effect hervorzubringen, d. h. um die Temperatur von 100 Kilogrammen Eisen von 10° auf 11° zu erhöhen; um 100 Kilogrammen Eis zu schmelzen oder 100 Kilogrammen Wasser zu verdampfen, hat man eine 100mal größere Wärmemenge nöthig, als wenn man dieselben Effecte nur an 1 Kilogramm dieser Substanzen hervorbringen wollte.

Eine Substanz hat eine größere oder geringere Wärmecapacität, je nachdem eine größere oder geringere Wärmemenge nöthig ist, um eine be-

stimmte Temperaturveränderung, etwa eine Temperaturerhöhung von 1°, hervorzubringen; die dazu nöthige Wärmemenge aber nennt man die specifische Wärme dieser Substanz. Zwei Körper haben gleiche Wärmecapacitäten, wenn sie bei gleichem Gewichte derselben Wärmemenge bedürfen, damit ihre Temperatur um 1° erhöht wird; dagegen ist die Wärmecapacität des einen Körpers 2mal, 3mal und 4mal so groß als die des andern, wenn dazu eine 2=, 3=, 4mal größere Wärmemenge nöthig ist.

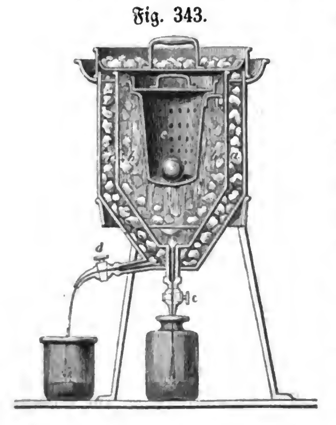
Ein und derselbe Körper kann eine veränderliche Wärmecapacität haben, was z. B. beim Platin der Fall ist, welches eine größere Wärmemenge bedarf, um von 100° auf 101° erwärmt zu werden, als wenn man seine Temperatur von 0° auf 1° erhöhen will. Die Wärmecapacität des Wassers dagegen ist constant, weshalb man sie auch zur Einheit gewählt hat.

Aus diesen Definitionen geht hervor, daß ein Körper, dessen Gewicht m und dessen Wärmecapacität c ist, bei einer Temperaturerhöhung oder einer Temperaturerniedrigung von t^0 eine Wärmemenge aufnimmt oder verliert, welche durch das Product mct ausgedrückt ist.

Um die specifische Wärme der Körper zu bestimmen, hat man drei verschiedene Methoden befolgt, nämlich die Methode des Eisschmelzens, die Mischungsmethode und die Erkaltungsmethode.

157 **Calorimeter von Lavoisier und Laplace.** In Fig. 343 ist ein Durchschnitt dieses Instrumentes dargestellt, welches aus drei Gefäßen von Eisenblech besteht, von denen das größte das mittlere und dieses wieder das kleinste einhüllt. Der Zwischenraum zwischen dem ersten und zweiten Gefäße ist mit Eisstücken gefüllt; und das in diesem Raume durch Schmelzung des Eises gebildete Wasser fließt durch den Hahn d ab; der Zwischenraum zwischen dem zweiten und dritten Gefäße ist gleichfalls mit Eisstücken gefüllt, und das hier gebildete Wasser fließt durch den Hahn e ab.

Fig. 343.



Wenn man nun in den innersten Raum den zu untersuchenden Körper bringt, so wird er bis auf 0 Grad erkalten; alle Wärme, welche er abgegeben hat, diente nur, um Eis zu schmelzen, welches durch den Hahn e abfloß, und wenn man die Masse und die anfängliche Temperatur des in den innersten Raum gebrachten

Körpers kennt, wenn man ferner weiß, wie viel Eis durch die von ihm abgegebene Wärme geschmolzen wurde, so kann man leicht die specifische Wärme dieses Körpers berechnen.

Ein Beispiel mag dies erläutern: gesetzt, man habe eine auf 100° erwärmte eiserne 2 Kilogramme schwere Kugel in das Calorimeter gebracht, so würde die von ihr während ihres Erkaltens bis auf 0° abgegebene Wärme ohngefähr 293 Milligramme Eis geschmolzen haben. Nun aber haben wir gesehen, daß die Wärme, welche 1 Kilogramm Wasser von 79 Graden abgiebt, um auf 0° zu erkalten, gerade hinreicht, um 1 Kilogramm Eis zu schmelzen; hätte man also 2 Kilogramme Wasser von 79° in den Apparat gebracht, so würden 2 Kilogramme Eis geschmolzen worden seyn, 2 Kilogramme Wasser von 100° würden also 2,53 Kilogramme Eis geschmolzen haben. Wir sehen also, daß, wenn gleiche Massen Wasser und Eisen von 100° auf 0° erkalten, aus beiden nicht gleiche Wärmemengen austreten, sondern daß bei dieser Erkaltung das Eisen viel weniger, und zwar ohngefähr 0,11mal weniger Wärme abgiebt als das Wasser. Um also gleiche Massen Eisen und Wasser von 0° auf 100° zu erwärmen, braucht man auch dem Eisen nur 0,11mal weniger Wärme zuzuführen als dem Wasser, die specifische Wärme des Eisens ist also 0,11, wenn wir die des Wassers zur Einheit nehmen.

Das Eis in dem äußern Mantel des Calorimeters dient nur dazu, die Wärme der äußern Umgebung abzuhalten, so daß man überzeugt seyn kann, daß alles Wasser, welches durch den Hahn *e* abfließt, durch die Wärme gebildet worden ist, welche der in den innersten Theil des Calorimeters gebrachte Körper abgegeben hat, und daß in dem zweiten Mantel des Apparates kein Eis durch die von Außen eindringende Wärme geschmolzen werden kann.

Die Körper, deren specifische Wärme bestimmt werden soll, werden, bevor man sie in den Apparat bringt, dadurch bis zu einem bestimmten Temperaturgrade erwärmt, daß man sie in heißes Wasser oder heißes Oel taucht. Wenn sie so lange in der Flüssigkeit waren, daß man überzeugt seyn kann, daß sie dieselbe Temperatur haben, werden sie rasch in das Calorimeter gebracht. Wenn die Menge der anhängenden heißen Flüssigkeit nur etwas bedeutend ist, darf dieser Umstand bei der Berechnung der Resultate nicht unberücksichtigt bleiben.

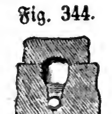
Diese Methode läßt sich nicht für alle Substanzen anwenden, weil man sie nicht immer in hinreichender Menge und in passender Form erhalten kann.

Statt der Eisstücke darf man wenigstens in dem zweiten Mantel keinen Schnee anwenden, weil derselbe das Wasser, welches durch die Schmelzung erzeugt wird, theilweise auffaugen und also das Ausfließen durch den

Hahn *e* verhindern würde. Aus demselben Grunde darf das Eis auch nicht zu fein gestoßen seyn.

Die specifische Wärme von Körpern, die man in passender Form erhalten kann, läßt sich nach der Methode des Eisschmelzens auch in folgender Weise ermitteln; man macht in ein massives festes Eisstück eine Höhlung, in welche man den erwärmten Körper bringt, Fig. 344, und sie dann mit einem Deckel von Eis bedeckt. Dies Verfahren kann ziemlich genaue Resultate geben, wenn die Temperatur des Eisstückes sowohl als die der umgebenden Luft 0° ist.

Fig. 344.



Mischungsmethode. Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, 158 daß man eine gewogene Menge des zu untersuchenden Körpers bis auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann in ein Gefäß mit Wasser eintaucht, dessen Temperatur durch Abkühlung jenes Körpers erhöht wird; kennt man nun die Quantität des Kühlwassers, hat man ermittelt, welche Temperaturerhöhung es durch die Abkühlung des eingetauchten Körpers erleidet, so läßt sich daraus die specifische Wärme dieses Körpers berechnen.

Nehmen wir an, eine 200 Gramm schwere bis zu 100° erwärmte Platinkugel sey in eine 15° warme Wassermasse von 105 Gramm eingetaucht worden und habe sie durch seine Abkühlung auf 20°, also um 5° erwärmt, so ist klar, daß die 200 Gramm Platin um 80° abgekühlt werden mußten, um 105 Gramm Wasser um 5° zu erwärmen. Dieselbe Wärmemenge, welche die Platinkugel abgegeben hat, würde aber demnach auch hingereicht haben, um die Temperatur von 525 Gramm Wasser um 1° zu erhöhen. Wäre die Platinkugel nur 1 Gramm schwer gewesen, so hätte die von ihr bei einer Temperaturerniedrigung von 80° abgegebene Wärmemenge auch nur $\frac{525}{200}$, also nur 2,625 Gramm Wasser um 1° oder 1 Gramm Wasser um 2,625° erwärmen können. Daraus geht aber hervor, daß dieselbe Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 Gramm Platin um 80° erhöht, die Temperatur einer gleichen Wassermasse nur um 2,625° erhöhen kann, das Platin bedarf also nur $\frac{2,625}{80}$, also 0,0328mal weniger Wärme, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren wie eine gleiche Wassermasse; die specifische Wärme des Platins ist demnach 0,0328.

Bezeichnen wir mit m das Gewicht und mit t die Temperaturerhöhung des Kühlwassers (in dem eben berechneten Beispiele 105 Gramm und 5°), mit m' und t' das Gewicht und die Temperaturerniedrigung des abgekühlten Körpers (in unserm Beispiele 200 Gramm Platin und 80°), so ergiebt sich aus der eben für einen concreten Fall durchgeführten Betrachtungs=

weise für die Berechnung der specifischen Wärme c des abgekühlten Körpers folgende Formel.

$$c = \frac{m.t}{m'\,t'}$$

das heißt in Worten, man findet die specifische Wärme des abgekühlten Körpers, wenn man sein Gewicht mit seiner Temperaturerniedrigung multiplicirt und mit diesem Producte in das Product dividirt, welches man erhält, wenn man das Gewicht des Kühlwassers mit seiner Temperaturerhöhung multiplicirt.

Ist die specifische Wärme eines erhitzten Körpers bekannt, so kann man nach dieser Formel, wie Pouillet gezeigt hat, aus der Temperaturerhöhung, welche das Kühlwasser beim Ablöschen desselben erleidet, die Temperatur berechnen, welche er hatte, denn nach dieser Formel ist

$$t' = \frac{m\,t}{m'\,c'}$$

Nehmen wir an, man hätte eine 200 Gramm schwere Platinkugel in dem Feuer eines Ofens erhitzt, sie dann in einer Wassermasse von 1000 Gramm abgelöscht, und dadurch wäre die Temperatur des Wassers von 13^0 auf 20^0, also um 7^0 erhöht worden, so haben wir $m = 1000$, $m' = 200$, $t = 7$; die specifische Wärme des Platins $c = 0{,}033$, so ergiebt sich

$$t' = \frac{1000.7}{2000.0{,}033} = \frac{7000}{6{,}6} = 1061.$$

Die Temperatur der heißen Platinkugel wäre demnach 1061^0 über 20^0, also 1081^0, gewesen. Dieses Resultat ist jedoch nur eine erste Annäherung, weil, wie Pouillet gezeigt hat, die specifische Wärme des Platins für höhere Temperaturen zunimmt. Aus einer Tabelle, die alsbald folgen wird, sieht man, daß für eine Temperatur von 1000^0, und das ist ja, wie wir aus der ersten Näherungsrechnung sehen, die Temperatur, welche die Platinkugel ungefähr hatte, die specifische Wärme des Platins gleich 0,0373 ist. Diesen Werth haben wir also für c in obige Gleichung zu setzen, und dann ergiebt sich

$$t' = \frac{1000.7}{200.0{,}0373} = \frac{7000}{7{,}46} = 938.$$

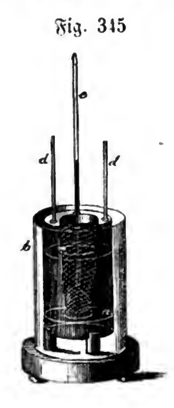
Die Temperatur der Platinkugel war demnach $938 + 20 = 958^0$. Auf diese Weise kann die Kenntniß der specifischen Wärme zur Bestimmung hoher Temperaturen dienen. Pouillet fand nach dieser Methode die Temperatur des schmelzenden Eisens gleich 1500 bis 1600^0.

Wenn diese Methode brauchbare Resultate geben soll, so muß die Wassermasse so groß seyn, daß sie durch die Abkühlung des hineingebrachten Körper nur um wenige Grade über die Temperatur der umgebenden Luft-

masse erwärmt wird; dann aber muß man auch die Temperaturerhöhung des Gefäßes in Rechnung bringen. Wäre z. B. das Gefäß von Kupferblech und n Gramm schwer, so ist klar, daß zu einer bestimmten Temperaturerhöhung dieses Gefäßes eben so viel Wärme nöthig ist, als um die Temperatur einer $n . 0{,}095$ Gramm schweren Wassermasse um eben so viel Grade zu erhöhen, weil die specifische Wärme des Kupfers 0,095 von der des Wassers ist. Man kann allgemein sagen, die Temperaturerhöhung eines n Gramm schweren Gefäßes erfordert eben so viel Wärme wie eine gleiche Temperaturerhöhung einer $n . c$ Gramm schweren Wassermasse, wenn c die specifische Wärme der Gefäß-Substanz bezeichnet.

Die Fig. 345 stellt den Apparat dar, welchen Pouillet zur Bestimmung der specifischen Wärme des Platins anwandte; a ist ein Gefäß von dünnem Kupferblech, welches auf einer Holzplatte steht, die durch drei Korkstücke getragen wird; b ist ein ähnliches Gefäß, welches das erstere umgiebt und welches Luftströmungen und zufällige Temperaturveränderungen von demselben abhält. Der Deckel des innern Gefäßes hat in der Mitte ein großes Loch und trägt ein Körbchen von dünnem Kupferdraht, in welches der abzukühlende Körper hineingeworfen wird. Die Temperaturerhöhung des Wassers wird an dem Thermometer e abgelesen. Am untern Ende der Stäbchen d ist eine ringförmige dünne Scheibe befestigt, welche auf und nieder bewegt wird, um die Wärme im Wasser möglichst gleichförmig zu vertheilen und die Abkühlung des eingebrachten Körpers möglichst zu beschleunigen; in dieser Scheibe muß natürlich außer der großen Oeffnung in der Mitte noch ein kleines Loch gemacht seyn, durch welches das Thermometer hindurchgeht. Wenn der heiße Körper in das Wasser hineingeworfen worden ist, so ist er schon nach 30 bis 40 Sekunden gänzlich abgekühlt, denn in dieser Zeit hat das Thermometer e das Maximum seiner Temperaturerhöhung erreicht.

Fig. 345



Man muß mehrere solcher Apparate von verschiedener Größe haben, damit man stets einen solchen wählen kann, daß die Temperaturerhöhung des Kühlwassers höchstens 4 bis 5^0 beträgt. Je größer die Masse des abzulöschenden Körpers und je höher seine Temperatur ist, desto größer muß natürlich die Masse des Kühlwassers sein.

Die neuesten und genauesten Versuche über die specifische Wärme hat Regnault, und zwar nach der Methode der Mischung, angestellt. Er erwärmte die zu untersuchenden Körper in einem ringsum von den Däm-

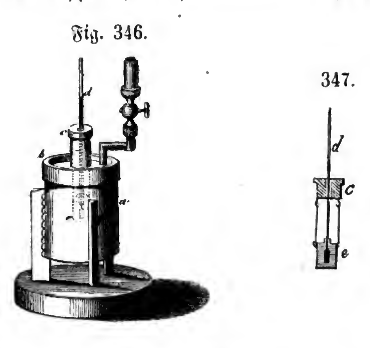
pfen des kochenden Wassers umgebenen Raume und hatte die Einrichtung getroffen, daß sie aus diesem Raume unmittelbar in das Kühlwasser herabgelassen werden konnten. Für solche Körper, die im Wasser löslich sind, wandte Regnault statt desselben Terpentinöl als Abkühlungsflüssigkeit an, nachdem er zuvor die specifische Wärme des Terpentinöls bestimmt hatte.

159 **Methode des Erkaltens.** Wenn ein erwärmter Körper in einen Raum gebracht wird, in dem er nur durch Wärmestrahlung erkalten kann, so wird er unter übrigens gleichen Umständen um so langsamer erkalten, je größer seine specifische Wärme ist. Darauf gründete zuerst Mayer ein Verfahren, um die specifische Wärme der Körper zu ermitteln; später haben Dulong und Petit nach dieser Methode die specifische Wärme einer Reihe von Körpern mit großer Sorgfalt bestimmt.

Der Apparat, den sie anwandten, ist Fig. 346 dargestellt. Er besteht aus einem bleiernen Behälter a, welches luftleer gemacht wird. In der Mitte des Deckels befindet sich eine metallene Hülse c, in welche ein Thermometer d eingekittet ist, dessen cylindrisches Reservoir sich in der Mitte eines kleinen silbernen Gefäßes e befindet, wie man dies deutlicher in Fig. 347 sieht. Dieses silberne Gefäß ist an Fäden aufgehängt und enthält die zum Versuch bestimmte Substanz. Wenn dieser Körper ein fester ist, so wird er gepulvert und das Pulver fest in das silberne Gefäß hineingedrückt, so daß das Reservoir des Thermometers ganz von dem Pulver umgeben und das Silbergefäß ganz ausgefüllt ist. Das Silbergefäß wird nun mit der darin enthaltenen Substanz 15 bis 20^0 erwärmt und in das bleierne Gefäß a hineingebracht, welches selbst in ein Wasserbad von constanter Temperatur eingetaucht ist. Nun wird das Gefäß a luftleer gemacht, und man beobachtet, wie viel Zeit nöthig ist, damit das Thermometer von einer Temperatur, welche die Temperatur des Wasserbades um 10^0 übersteigt, um 5^0 fällt.

Fig. 346.

347.



Wenn nun die silberne Hülle in gleichen Zeiten gleich viel Wärme ausstrahlt, so ist offenbar der Wärmeverlust, welchen die ganze Masse während der Temperaturerniedrigung von 5^0 erleidet, der Zeit proportional, welche zu dieser Erkaltung nöthig ist.

Gesetzt nun, für irgend eine Substanz sey diese Zeit gleich z, für eine andere sey sie z', so verhalten sich offenbar die während einer Temperaturerniedrigung von 5° abgegebenen Wärmemengen wie z zu z'; wenn aber m und m', c und c' die Gewichte und Wärmecapacitäten der beiden Körper sind, so sind die Wärmemengen, welche sie während einer Temperaturerniedrigung von 5° abgeben, $5\ m\ c$ und $5\ m'\ c'$, man hat also

$$\frac{m\ c}{m'\ c'} = \frac{z}{z'},$$

und danach läßt sich das Verhältniß der Wärmecapacitäten c und c' berechnen; doch muß man, wenn die Rechnung genaue Resultate geben soll, auch noch die von der Silberhülle selbst und dem Thermometer abgegebene Wärme in Rechnung bringen.

Regnault hat gezeigt, daß diese Methode keine ganz zuverlässigen Resultate geben kann, weil sie vieles voraussetzt, was nicht bewiesen ist; sie setzt nämlich voraus, daß das Erkalten durch alle Parthieen der Substanz gleichmäßig vor sich geht und daß alle Substanzen ihre Wärme mit gleicher Leichtigkeit an die Silberhülle abgeben.

Resultate der Versuche über die specifische Wärme. Die Bestimmung der specifischen Wärme erhielt durch die Arbeiten von Dulong und Petit eine große Wichtigkeit für die Chemie, indem sie fanden, daß das Product, welches man erhält, wenn man die specifische Wärme eines Elements mit seinem Atomgewichte multiplicirt, stets denselben Werth habe. So fanden sie z. B. die specifische Wärme des Eisens gleich 0,1100; das Atomgewicht dieses Metalls ist aber 339,2, und das Product dieser beiden Größen ist gleich 37,31. Multiplicirt man die specifische Wärme des Kupfers 0,0949 mit seinem Atomgewichte 395,7, so erhält man das Product 37,55, einen Werth, welcher mit dem für das Eisen gefundenen fast vollkommen übereinstimmt. Ebenso fand sich, daß dieses Product für alle metallischen Elemente fast genau denselben Werth habe, es schien also das Gesetz begründet zu seyn, daß die specifische Wärme der metallischen Elemente ihrem Atomgewichte umgekehrt proportional sey. 160

Dadurch war nun ein Mittel mehr gegeben, das Atomgewicht eines Körpers kennen zu lernen und die Werthe der auf anderm Wege gefundenen Atomgewichte zu controlliren. Die Atomgewichte der Elemente waren zu der Zeit, wo Dulong und Petit diese Arbeiten ausführten, noch nicht so fest bestimmt als jetzt; oft hatte man für denselben Körper unter mehreren Atomgewichten zu wählen, und Dulong und Petit wählten natürlich das mit ihrem Gesetze am besten harmonirende.

Später wurden die Atomgewichte auf anderm Wege genauer bestimmt, aber das Dulong'sche Gesetz stellte sich dadurch nicht noch evidenter heraus, im Gegentheil ergaben sich Abweichungen, welche dem Gesetze gerade

zu widersprechen schienen. So erhält man z. B. für das Product der specifischen Wärme des Kobalts, wie sie von Dulong und Petit bestimmt worden war, nämlich 0,1498, und des von Berzelius bestimmten Atomgewichts dieses Metalls, nämlich 369, das Product 55,28.

Dieser Umstand war es besonders, welcher Regnault veranlaßte, die specifische Wärme der Elemente noch einmal genau zu untersuchen. Vorerst war eine Ausmittelung der specifischen Wärme derjenigen Substanzen nöthig, welche zur Construction der Apparate dienten. Regnault fand

die specifische Wärme des Messings . . . . . , 0,09391
» » » Glases 0,19768
» » » Terpentinöls 0,42593
» » » Quecksilbers , . . . 0,03332

Die folgende Tabelle enthält die Endresultate seiner Versuche über die specifische Wärme fester Elemente, die in chemisch reinem Zustande untersucht wurden, neben denen von Dulong und Petit.

Name der Substanz	Gefundene specif. Wärme	Specif. Wärme nach Dulong u. Petit	Atomgewicht nach Berzelius	Von Regnault angenommenes Atomgewicht	Product aus der specif. Wärme in das letztere
Eisen	0,11379	0,1100	339,21	339,21	38,597
Zink	0,09555	0,0927	403,23	403,23	38,526
Kupfer	0,09515	0,0949	395,70	395,70	37,849
Kadmium	0,05669		696,77	696,77	39,502
Silber	0,05701	0,0557	1351,6	675,80	38,527
Arsenik.	0,08140	0,081 A	470,04	470,04	38,261
Blei	0,03140	0,0293	1294,5	1294,5	40,647
Wismuth	0,03084	0,0288	886,92	1330,4	41,028
Antimon	0,05077	0,0507	806,45	806,45	40,944
Zinn	0,05623	0,0514	735,29	735,29	41,345
Nickel	0,10863	0,1035	369,68	369,68	40,160
Kobalt	0,10696	0,1498	368,99	368,99	39,468
Platin	0,03243	0,0314	1233,5	1233,5	39,993
Palladium. . . .	0,05927		665,90	665,90	39,468
Gold	0,03244	0,0298	1243,0	1243,0	40,328
Schwefel	0,20259	0,1880	201,17	201,17	40,754
Selen	0,08370		494,58	494,58	41,403
Tellur	0,05155	0,0912	801,76	801,76	41,549
Jod	0,05412	0,089 A	789,75	798,75	42,703

Die in der dritten Columne mit A bezeichneten Zahlen sind von Avogadro bestimmt worden.

Diese Versuche Regnault's entfernen nun wieder die Zweifel über die Richtigkeit des Dulong'schen Gesetzes. Um dieses Gesetz mit völliger Schärfe zu beweisen, müßten die Zahlen der letzten Columne unter sich vollkommen gleich seyn, was nicht der Fall ist; diese Zahlen schwanken zwischen 38 und 42, eine Differenz, welche für die Beobachtungsfehler bei weitem zu groß ist. Bedenkt man jedoch, daß die Atomgewichte von 200 bis 1400 wechseln, während die in Rede stehenden Producte innerhalb der Gränze 38 bis 42 bleiben, so muß man ohne Zweifel das Dulong'sche Gesetz für ein der Wahrheit sehr nahe kommendes halten.

Regnault fand sich veranlaßt, statt der Berzelius'schen Atomgewichte in einigen Fällen andere anzunehmen; so nimmt er z. B. das Atomgewicht des Silbers um die Hälfte kleiner, was er auch durch den Isomorphismus des Schwefelsilbers mit dem Schwefelkupfer für gerechtfertigt hält. Für Wismuth nimmt er die früher gebräuchliche Atomzahl 1330 statt der jetzt angenommenen 887 an, wofür auch das ähnliche Verhalten einiger Wismuthverbindungen mit den analogen Antimonverbindungen spricht.

Die specifische Wärme eines und desselben Körpers kann sich merklich ändern, wenn seine Dichtigkeit eine Veränderung erleidet; so wird z. B. die specifische Wärme des Kupfers merklich kleiner, wenn durch Harthämmern seine Dichtigkeit zunimmt; die specifische Wärme des schmiedbaren Kupfers ist nach Regnault 0,095, die des gehämmerten Kupfers 0,093.

Die specifische Wärme des Kohlenstoffs ändert sich bedeutend mit dem Dichtigkeitszustande. Regnault fand für Holzkohle 0,2415, für Steinkohle 0,2009 und für Diamant 0,1469, die specifische Wärme ist also um so geringer, je größer die Dichtigkeit ist.

Daß die specifische Wärme der Körper für höhere Temperaturen zunimmt, wie schon oben angeführt wurde, ersieht man aus folgenden von Dulong und Petit gefundenen Werthen:

	Mittlere Capacität	
	zwischen 0 u. 100°	zwischen 0 u. 300°
Eisen	0,1098	0,1218
Quecksilber	0,0330	0,0350
Zink	0,0927	0,1015
Antimon	0,0507	0,0549
Silber	0,0557	0,0611
Kupfer	0,0949	0,1013
Platin	0,0335	0,0355
Glas	0,177	0,190

Nach Pouillet's Versuchen ist die mittlere specifische Wärme des Platins

zwischen	0°	und	100°	. . . .	0,03350
»	0	»	300	. . . .	0,03434
»	0	»	500	. . . .	0,03518
»	0	»	700	. . . .	0,03602
»	0	»	1000	. . . .	0,03728
»	0	»	1200	. . . .	0,03818

Da die specifische Wärme eines und desselben Körpers veränderlich ist, so kann die specifische Wärme einer Substanz auch nur für einen bestimmten Zustand der Dichtigkeit und für eine bestimmte Temperatur dem Dulong'schen Gesetze genügen; wenn also die Erfahrung dieses Gesetz nicht in aller Strenge, sondern nur annähernd bestätigt, so ist höchst wahrscheinlich der Grund darin zu suchen.

Die specifische Wärme zusammengesetzter Körper ist von Avogadro, Neumann und Regnault, und zwar von letzterem am vollständigsten, untersucht worden. Er gelangte durch eine große Reihe von Versuchen zu dem Satze, daß bei allen zusammengesetzten Körpern von gleicher atomistischer und ähnlicher chemischer Zusammensetzung die specifische Wärme im umgekehrten Verhältnisse der Atomgewichte stehe. So ist z. B. für Oxyde mit 1 Aeq. Sauerstoff das Product der specifischen Wärme und des Atomgewichts gleich 71,9. Für die entsprechenden Schwefelverbindungen ist dies Product 74,5; für Chlormetalle mit 1 Aeq. Chlor ist es 117; für die entsprechenden Bromide und Jodide 121 u. s. w.

161 **Specifische Wärme der Gase.** De la Roche und Berard haben über diesen Gegenstand eine schöne Arbeit ausgeführt, welche von der Akademie der Wissenschaften zu Paris im Jahre 1812 gekrönt wurde. Der Apparat, welchen sie zu ihren Versuchen anwandten, hatte folgende Einrichtung:

Durch den luftdicht schließenden Deckel eines mit Luft gefüllten Gefäßes *a*, Fig. 348, geht eine Röhre vertikal in die Höhe, welche oben in ein mit Wasser gefülltes Gefäß endigt. Das untere Ende dieser Röhre ist nach oben gekrümmt, und durch die Oeffnung kann das Wasser aus dem Gefäße *A* in das Gefäß *a* herabfließen. Das Gefäß *A* ist gleichfalls durch einen Deckel oben luftdicht verschlossen, durch diesen Deckel geht nun eine an beiden Enden offene Röhre in das Wasser des Gefäßes *A* hinab, und in dem Maße, als unten Wasser ausfließt, dringen durch das untere Ende *t* dieser Röhre Luftblasen in das Gefäß *A* ein; dadurch wird nun die Luft aus dem Gefäße *a* mit einer constanten Geschwindigkeit, wie sie einer Wassersäule von *t* bis zur untern Oeffnung zukommt, ausgetrieben. (Erster Theil, Seite 224.)

Aus dem Gefäße *a* gehen nun zwei Röhren, die sich zu einer verbinden, nach dem Ballon *C*; die eine dieser Röhren geht fast bis auf den Boden des Gefäßes *a* herab, und diese ist jetzt durch einen Hahn abgesperrt, durch die andere hingegen strömt die Luft aus dem obern Theile des Gefäßes *a*

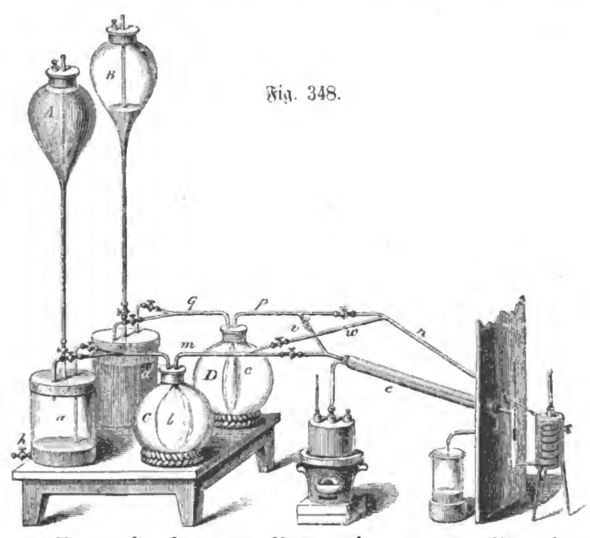


Fig. 348.

nach dem Ballon *C*. In diesem Ballon hängt nun eine Blase *b*, welche mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt ist; aus dieser Blase wird das Gas durch den Druck der comprimirten Luft in *C* durch die Röhre *m* in das Schlangenrohr des Calorimeters *s* getrieben, nachdem es zuvor bei *e* in einer Weise erwärmt worden ist, die sogleich näher beschrieben werden soll. Nachdem das Gas durch das Schlangenrohr des Calorimeters hindurchgegangen ist, wird es durch die Röhren *n* und *p* in die leere Blase *c* geleitet, die sich in dem Ballon *D* befindet. Kurz durch den Druck der Wassersäule wird das Gas aus der Blase *b* auf einigen Umwegen in die Blase *c* hineingepreßt. Wenn sich aber die Blase *c* allmälig mit Gas füllen, wenn sie sich ausdehnen soll, so muß die Luft aus dem Ballon *D* austreten können. In der That führt von *D* eine Röhre *q*, welche sich alsbald in zwei Arme theilt, nach dem mit Wasser gefüllten Gefäße *d*. Der eine dieser Arme führt zu dem oberen Theile des Gefäßes *d*, und dieser Arm ist für jetzt durch einen Hahn verschlossen, der andere Arm aber geht fast bis auf den Boden des Gefäßes *d*. Durch diesen Arm gelangt die aus *D* herausgepreßte Luft in das Gefäß *d*. In dem Maße aber, als die Luft

aus D nach d übergeht, fließt das Wasser aus dem Gefäße d durch einen Hahn ab, welcher dem Hahn h am Gefäße a entspricht.

Wenn auf diese Weise die Blase b entleert und c mit Gas gefüllt ist, so ist auch a mit Wasser und d mit Luft gefüllt; es werden alsdann alle Hähne geschlossen, die bis jetzt geöffnet waren, alle bis jetzt geschlossenen aber geöffnet; alsdann wird durch das aus B herabkommende Wasser die Luft in d und D comprimirt, das Gas wird aus der Blase c durch die Röhren p und v nach der Erhitzungsstelle e und von da nach dem Calorimeter getrieben, aus dem Schlangenrohre des Calorimeters aber gelangt

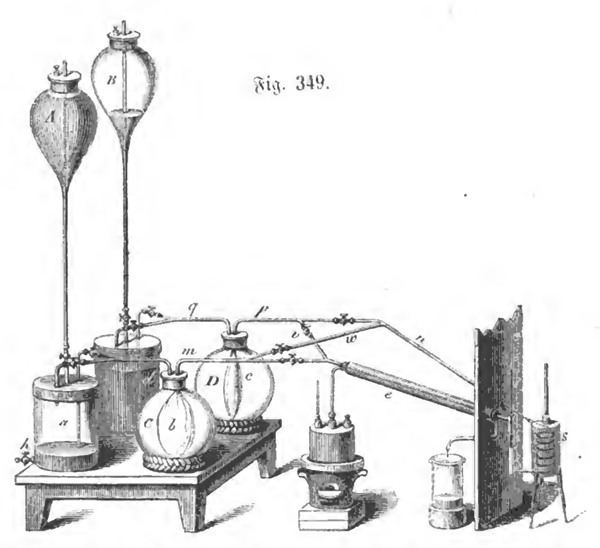


Fig. 349.

das Gas durch die Röhren n, w und m in die Blase b; die Luft aus C wird nach a hinabgepreßt, und das Wasser aus a fließt durch den Hahn h ab. Wenn die Blase b wieder mit Gas gefüllt ist, werden die Hähne abermals verstellt u. s. w. Auf diese Weise kann man eine und dieselbe Gasmenge zu wiederholten Malen mit constantem Drucke durch das Calorimeter hindurchtreiben.

Bei e ist das Rohr, durch welches das Gas hindurchstreicht, von einem weiteren Rohre umgeben, welches stets mit den Dämpfen von kochendem Wasser erfüllt ist. Ein Thermometer zeigt die Temperatur an, mit welcher es in das Calorimeter eintritt, ein anderes Thermometer zeigt seine Temperatur beim Austritte aus demselben.

Selbst wenn kein Gas durch den Apparat hindurchströmt, wenn aber doch die Röhre bei *e* durch die Wasserdämpfe erwärmt ist, wird dem Calorimeter eben durch dieses Rohr schon Wärme zugeführt; die Temperaturerhöhung, welche auf diese Weise das Calorimeter erleidet, muß durch vorläufige Versuche ausgemittelt werden, damit man sie gehörig in Rechnung bringen kann.

Um zufällige Temperaturveränderungen von dem Calorimeter abzuhalten, war es durch einen Schirm von dem übrigen Apparate getrennt; ein empfindliches Thermometer zeigte in jedem Augenblicke die Temperatur des Wassers im Calorimeter an.

Wenn das warme Gas fortwährend durch das Calorimeter hindurchstreicht, so wird dieses allmälig erwärmt und nimmt endlich eine constante Temperatur an, wenn es in jedem Augenblicke so viel Wärme empfängt, als es an die Umgebung verliert.

Bei einem Drucke von 76 Centimetern und unter übrigens gleichen Umständen betrug der Ueberschuß der stationären Temperatur des Calorimeters über die Temperatur der Umgebung

für atmosphärische Luft .	15,734°
für Wasserstoffgas . .	14,214
für Kohlensäure . . .	19,800
für Sauerstoffgas . . .	15,365
für Stickstoffoxydgas . .	21,246
für ölbildendes Gas . .	24,435
für Kohlenoxydgas . .	16,270

Da nun in gleichen Zeiten gleiche Gasvolumina durch den Apparat hindurchstreichen, so müssen offenbar die Werthe der specifischen Wärme der verschiedenen Gasarten für gleiche Volumina den eben angegebenen Temperaturüberschüssen proportional seyn; bezeichnet man demnach die specifische Wärme der atmosphärischen Luft mit 1, so ergeben sich für gleiche Volumina der anderen Gase aus den eben angeführten Zahlen folgende Werthe:

Wasserstoffgas	0,9033
Kohlensäuregas . . .	1,2583
Sauerstoffgas	0,9765
Stickstoffoxydgas . . .	1,3503
Oelbildendes Gas . . .	1,5530
Kohlenoxydgas	1,0340

De La Roche und Berard haben die Richtigkeit dieser Resultate aber noch auf einem andern Wege bestätigt. Wenn man der Reihe nach verschiedene Gase mit gleicher Temperatur und unter demselben Drucke durch das Calorimeter hindurchströmen läßt, so würden, wenn das Calorimeter

gar keine Wärme an die Umgebung verlöre, die Wärmecapacitäten der Gase dem Volumen derselben proportional seyn, welches durch das Schlangenrohr hindurchströmen muß, um das Wasser stets um dieselbe Anzahl von Graden zu erwärmen. Da es aber nun unmöglich ist, die Erkaltung des Gefäßes zu verhindern, so wurde es zu Anfang des Versuchs unter die Temperatur der Umgebung erkaltet, und der Versuch beendigt, wenn die Temperatur des Calorimeters eben so hoch über der Temperatur der Umgebung stand, als sie anfangs geringer war; so nimmt denn der Apparat während der ersten Hälfte des Versuchs eben so viel Wärme aus der Umgebung auf, als er während der zweiten Hälfte abgiebt; man kann Alles so betrachten, als ob gar keine Erkaltung stattfände. Auf diese Weise fanden sie Werthe für die Wärmecapacität der Gase, welche mit den oben angeführten sehr gut übereinstimmten.

Diese Zahlen gaben die specifische Wärme gleicher Gasvolumina bei gleichem Drucke; um die specifische Wärme gleicher Gewichtsmengen zu finden, hat man diese Zahlen nur durch das specifische Gewicht der Gase zu dividiren.

Das Verhältniß der specifischen Wärme der Gase zur specifischen Wärme des Wassers ergiebt sich aus den Versuchen von de La Roche und Berard auf folgende Weise.

Bezeichnen wir mit s die constante Temperatur des Calorimeters, also auch die Temperatur, mit welcher das Gas aus dem Calorimeter austritt, mit t seine Temperatur beim Eintritt, so ist $t - s$ die Temperaturerniedrigung, welche das Gas beim Durchstreichen durch das Calorimeter erleidet. Wenn nun ferner m' die Masse des Gases, welche in einer Minute durchstreicht, und c die specifische Wärme desselben ist, so ist offenbar die in 1' von dem Gase an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge gleich $m' c (t - s)$.

Bezeichnen wir ferner mit m die corrigirte Masse des Calorimeters, d. h. das Gewicht des Wassers, welches darin enthalten und dessen specifische Wärme gleich 1 ist, sammt dem Gewichte des Gefäßes und des Thermometers, multiplicirt mit der specifischen Wärme der Substanzen, aus denen sie verfertigt sind, mit r die corrigirte Temperatur des Calorimeters, d. h. die Temperatur, bis zu welcher es steigen würde, wenn kein Gas durch die Röhre striche und durch diese Röhre nur durch Leitung von e her Wärme zugeführt würde, so ist $m g (s - r)$ die Wärmemenge, welche das Calorimeter in jeder Minute verliert, wo g ein constanter Factor ist, welcher sich leicht bestimmen läßt, wenn man die Geschwindigkeit beobachtet, mit welcher das sich selbst überlassene Calorimeter erkaltet. So lange aber die Temperatur des Calorimeters constant bleibt, ist die Wärme-

menge, die ihm zugeführt wird, stets derjenigen gleich, welche er verliert, man hat also

$$m' c (t - s) = mg (s - r),$$

und daraus läßt sich die Wärmecapacität c des Gases, verglichen mit der des Wassers, berechnen.

Auf diese Weise bestimmten die genannten Physiker die specifische Wärme der atmosphärischen Luft in Beziehung auf das Wasser; es war alsdann leicht, auch die specifische Wärme der anderen Gase auf Wasser zu reduciren.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Versuche von de La Roche und Berard über die specifische Wärme der Gase bei gleichem Drucke.

Namen der Gase.	Capacität für gleiche Vol.	Cap. für Gleiche Gewichte	
		Luft = 1	Wasser = 1
Atmosphärische Luft .	1,000	1,000	0,267
Sauerstoff	0,976	0,885	0,236
Wasserstoff	0,903	12,340	3,294
Stickstoff	1,000	1,032	0,275
Kohlenoxyd	1,034	1,080	0,288
Stickstoffoxydulgas .	1,350	0,888	0,237
Kohlensäure . . .	1,258	0,828	0,221
Oelbildendes Gas .	1,553	1,576	0,421
Wasserdampf . . .	1,960	3,136	0,847

Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen. Wir haben bisher die specifische Wärme der Gase bei constantem Drucke betrachtet, sie konnten sich bei ihrer Erwärmung frei ausdehnen. Es ist aber auch wichtig, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu kennen, d. h. zu wissen, welche Wärmemenge nöthig ist, um die Temperatur eines Gases zu erhöhen, wenn man seine Ausdehnung hindert, wenn also durch die Temperaturerhöhung seine Spannkraft vermehrt wird. 162

Die Idee, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu ermitteln und sie mit ihrer Wärmecapacität bei constantem Drucke zu vergleichen, rührt von Laplace her.

Nehmen wir an, eine Luftmasse sey durch eine Temperaturerhöhung

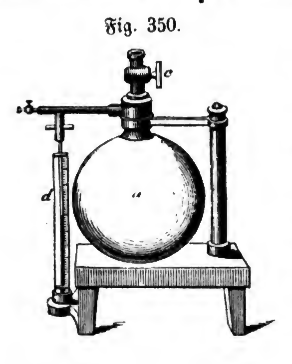
von t^0 bei unverändertem Drucke ausgedehnt; wird nun diese Luftmasse auf ihr ursprüngliches Volumen zusammengepreßt, so erleidet sie eine abermalige Temperaturerhöhung von t' Graden, ohne daß neue Wärme zugeführt wird, dieselbe Wärmemenge also, welche im Stande ist, die Temperatur dieser Luftmasse um t Grad zu erhöhen, wenn sie sich bei unverändertem Drucke ausdehnen kann, würde eine Temperaturerhöhung von $t + t'$ Graden hervorbringen, wenn keine Ausdehnung stattfinden kann. Die specifische Wärme c bei constantem Drucke ist also größer als die specifische Wärme c' bei constantem Volumen, und zwar verhalten sich die Wärmecapacitäten c und c' zu einander wie $t + t'$ zu t, es ist also

$$\frac{c}{c'} = \frac{t + t'}{t}.$$

Die Temperaturerhöhung, welche durch Compression der Luft hervorgebracht wird, läßt sich direct nicht mit Genauigkeit bestimmen, doch läßt sich der Werth des Quotienten $\frac{c}{c'}$ auf indirectem Wege aus folgendem von Clement und Desormes angestellten Versuche ableiten.

Die Luft in einem 28,4 Liter fassenden Ballon a wurde etwas verdünnt, und der Grad der Verdünnung durch die Höhe einer im Manometerrohre d gehobenen Wassersäule gemessen; nehmen wir an, die Höhe dieser Wassersäule habe 188mm betragen. Nun wurde ein Hahn c geöffnet, der so weit war, daß längstens in ½ Sekunde das Gleichgewicht mit der äußern Luft wieder hergestellt würde, und dann rasch wieder geschlossen. Durch das Eindringen der äußern Luft war die verdünnt gewesene Luft im Innern des Ballons zusammengedrückt und in Folge dessen auch etwas erwärmt worden; wenn man also den Apparat sich selbst überläßt, so wird die durch Compression der Luft frei gewordene Wärme sich allmälig verlieren, und in Folge dessen wird die Wassersäule in d von Neuem steigen. Als der Apparat bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet war, betrug die Höhe der Wassersäule in d 49mm. Die Temperaturerhöhung t', welche durch die Compression hervorgebracht wird, verhält sich aber zu der Temperaturerhöhung $t + t'$, welche nöthig wäre, um die Luft im Ballon bei unverändertem Drucke durch Erwärmen so viel zu verdünnen, als es durch die Luftpumpe geschehen war, sehr nahe wie die Druckhöhen 49 und 188;

Fig. 350.



wenn wir also $t' = 49$ und $t + t' = 188$ setzen, so ist $t = 139$, folglich

$$\frac{c}{c'} = \frac{188}{139} = 1{,}35.$$

Dieses Verfahren kann offenbar nur ein angenähert richtiges Resultat liefern, weil auch durch die Gefäßwände eine merkliche Wärmemenge weggenommen wird.

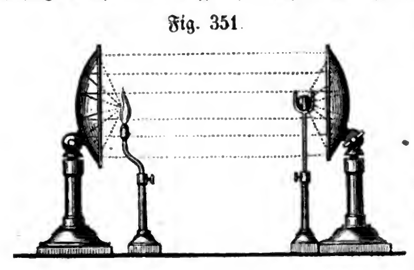
Durch Betrachtungen, die wir hier unmöglich weiter verfolgen können, hat Dulong aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft für diesen Quotienten den Werth 1,421 abgeleitet.

Sechstes Kapitel.

Fortpflanzung der Wärme.

Existenz der strahlenden Wärme. Die strahlende Wärme durchdringt gewisse Körper in derselben Weise wie das Licht durch die durchsichtigen Körper hindurchgeht; die Sonnenstrahlen z. B. treffen unsere Erde, nachdem sie die ganze Atmosphäre durchdrungen haben, sie erwärmen die Erdoberfläche, während die höheren Regionen der Luft kalt bleiben; die Wärmestrahlen gehen also größtentheils durch die Atmosphäre hindurch, ohne von ihr absorbirt zu werden. Wenn man sich dem Feuer eines Heerdes nähert, so empfindet man eine brennende Hitze, und doch ist die Luft zwischen uns und dem Feuer nicht bis zu einem solchen Grade erwärmt, denn wenn man einen Schirm vorhält, verschwindet diese Hitze augenblicklich, was unmöglich wäre, wenn wirklich die ganze uns umgebende Luftmasse eine so hohe Temperatur hätte. Heiße Körper können also nach allen Seiten hin Wärme aussenden, welche durch die Luft hindurchgeht, wie die Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper; man spricht deshalb von strahlender Wärme und von Wärmestrahlen, wie man von Lichtstrahlen spricht. 163

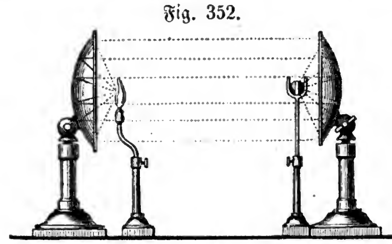
Fig. 351



Wenn man zwei große sphärische oder parabolische Hohlspiegel von polirtem Messingblech, 5 bis 6 Meter von einander entfernt, so aufstellt, daß die Axen beider Spiegel in eine Linie zusammenfallen, wenn man als-

dann in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Zunder, in den Brennpunkt des andern aber eine fast weißglühende Eisenkugel oder eine glühende Kohle bringt, deren Verbrennung man durch einen Blasebalg lebhaft unterhält, so wird sich der Zunder alsbald entzünden, als ob er mit dem Feuer in Berührung wäre. Dieser Versuch zeigt, daß der glühende Körper Wärmestrahlen aussendet, denn es ist klar, daß der Zunder nicht etwa dadurch angezündet würde, daß die zwischenliegenden Luftschichten allmälig so stark erhitzt worden wären. Bringt man den Zunder aus dem Brennpunkte weg, so wird er nicht mehr entzündet, wenn man ihn auch dem glühenden Körper weit näher bringt.

Fig. 352.



Bringt man an die Stelle der glühenden Kugel eine Kugel von 300° und an die Stelle des Zunders ein gewöhnliches Thermometer, so wird das Thermometer rasch steigen; also auch die Kugel von 300° sendet Wärmestrahlen aus.

Wenn man die 300° heiße Kugel mit einem Gefäße voll kochenden Wassers oder mit Wasser von 90°, 80° oder 70° vertauscht, so beobachtet man vielleicht gar keine Temperaturerhöhung mehr am Thermometer; dies beweis't aber noch nicht, daß die Wände des Gefäßes bei dieser Temperatur keine Wärme mehr ausstrahlen, sondern nur, daß hier das gewöhnliche Thermometer nicht empfindlich genug ist. Man muß deshalb empfindlichere Instrumente zu Hülfe nehmen, etwa ein Luftthermometer, Rumford's oder Leslie's Differentialthermometer oder Melloni's Thermomultiplicator.

Fig. 353.



Ein Luftthermometer kann man zu diesem Zwecke etwa so construiren, wie Fig. 353 zeigt. Eine Kugel von 3 bis 4 Centimeter Durchmesser ist an dem Ende einer Röhre angeblasen, deren Durchmesser ungefähr 1^{mm} beträgt; diese Röhre ist gekrümmt, wie man in der Figur sieht, und hat in der Mitte eine zweite Kugel, an ihrem andern Ende einen Trichter, damit die von *c* bis *d* stehende Flüssigkeit weder in die untere Kugel zurücksteigen, noch oben auslaufen kann. Wenn die Dimensionen des Instrumentes bekannt sind, so

kann man wohl ungefähr seine Empfindlichkeit berechnen, graduiren kann man es jedoch nicht, weil ja die Flüssigkeit dem atmosphärischen Drucke ausgesetzt bleibt und weil aus der unteren Kugel bald Luft aus-, bald eintritt.

Rumford's Differentialthermometer, Fig. 354, besteht aus zwei Glaskugeln, *a* und *b*, welche durch eine gebogene Glasröhre, deren horizontaler Theil 5 bis 6 Decimeter lang ist, verbunden sind. In dieser Röhre befindet sich ein Index von Alkohol oder Schwefelsäure, auf welchen von beiden Seiten die Luft der Kugeln drückt; er wird also nur dann an einer bestimmten Stelle stehen bleiben, wenn der Druck von beiden Seiten gleich ist. Die Stelle, welche der Index einnimmt, wenn die Temperatur beider Kugeln vollkommen gleich ist, ist der Nullpunkt der Theilung. Wird nun die eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so wird der Index gegen die kältere Kugel hingetrieben, und seine Entfernung von dem Nullpunkte ist der Temperaturdifferenz der beiden Kugeln proportional.

Fig. 354.

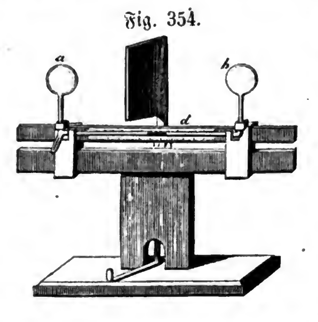
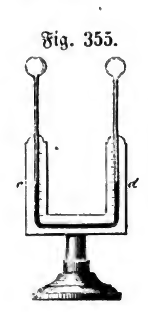
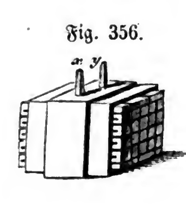


Fig. 355.



Leslie's Differentialthermometer, Fig. 355, ist auf ähnliche Weise construirt, nur sind seine Kugeln in der Regel etwas kleiner, die vertikalen Arme der sie verbindenden Röhre sind länger und stehen einander näher.

Fig. 356.



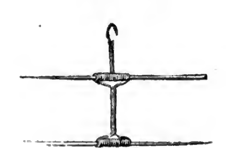
Melloni's Thermomultiplicator besteht aus einer thermoelektrischen Säule, Fig. 356, wie sie schon auf Seite 256 beschrieben wurde, und aus einem sehr empfindlichen Multiplicator. Die Säule ist sorgfältig an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung bei *p*, Fig. 357, auf ein Stativ gebracht; die Hülsen *a* und *b* dienen dazu, die Luftströmungen und die Seitenstrahlungen von der Säule abzuhalten; da die Hülse *b* conisch ist, so dient sie auch, um von dieser Seite her die Wärmestrahlen mehr zu concentriren, wenn

es nöthig ist. Der Kupferdraht, welcher das Galvanometer bildet, ist

Fig. 357.

7 bis 8 Meter lang und ist mit 40 Windungen auf einen Metallrahmen aufgewunden. Die wohl ausgewählten, magnetisirten und mit Sorgfalt compensirten Nadeln sind mit einander verbunden, wie Fig. 358 zeigt; dieses System ist alsdann an einem Coconfaden aufgehängt, welcher in der Mitte einer Glasglocke *c*, Fig. 357, aufgehängt ist. Durch Drehen an dem Knopfe *f* läßt sich der Coconfaden mit den Nadeln etwas heben oder senken.

Fig. 358.



Der Apparat wird auf einem hinlänglich festen Tische gehörig ins Niveau gestellt, so daß der Faden gerade in der Mitte des Theilkreises hängt und so gerichtet, daß die Nadeln, wenn ihre Ebene in den magnetischen Meridian fällt, auf den Nullpunkt der Theilung zeigen.

Um die Verbindung zwischen der thermoelektrischen Säule und dem Multiplicator herzustellen, dienen die leicht ausdehnbaren Drahtspiralen *g*

und h, welche bei x und y mit den beiden Enden der thermoelektrischen Säule, bei m und n mit den Enden des Multiplicatordrahtes in leitender Verbindung stehen. Die geringste Temperaturdifferenz zwischen den beiden geschwärzten Enden der Säule bewirkt nun schon eine Ablenkung der Nadel, die man auf dem getheilten Kreise ablesen kann.

Man muß hier wohl den anfänglichen Ausschlag von dem eigentlichen Ausschlagswinkel, d. h. von dem Winkel unterscheiden, welchen die Nadel mit dem magnetischen Meridian macht, wenn sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe gekommen ist. Wenn die Nadel durch die Einwirkung des Stromes aus dem magnetischen Meridiane herausgetrieben wird, so kommt sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage mit einer bestimmten Geschwindigkeit an, welche sie noch weiter forttreibt; auf dem Rückwege geht die Nadel abermals über ihre Gleichgewichtslage hinaus, und so kommt sie erst nach einer Reihe von Schwingungen, welche immer kleiner werden, zur Ruhe.

Um nicht immer warten zu müssen, bis die Nadel zur Ruhe kommt, hat Melloni durch Versuche das Verhältniß zwischen dem ersten und dem definitiven Ausschlage zu ermitteln gesucht, d. h. er bestimmte durch Versuche, wie groß der definitive Ausschlag ist, welcher einem jeden anfänglichen Ausschlage entspricht. Eine solche Beziehung, welche natürlich für jeden Apparat besonders ermittelt werden muß, bietet den großen Vortheil, daß ein jeder Versuch nur 10 bis 12 Sekunden dauert, während er mehrere Minuten dauern würde, wenn man warten müßte, bis die Nadel zur Ruhe gekommen ist.

Die Beziehung, welche zwischen der Ablenkung der Nadel und der Temperaturdifferenz der Löthstellen der Säule stattfindet, läßt sich zwar nicht auf eine absolute, aber doch auf eine relative Weise ermitteln. Nachdem Melloni gezeigt hatte, daß die Stromstärke einer Säule von Wismuth und Antimon der Temperaturdifferenz der Löthstellen proportional ist, kam es darauf an zu ermitteln, in welchem Verhältnisse die Ablenkung der Nadel zur Stromstärke steht. Zu diesem Zwecke brachte Melloni auf jeder Seite der Säule eine constante Wärmequelle, etwa eine Locatelli'sche Lampe, in solcher Entfernung an, daß die eine, für sich allein wirkend, eine Ablenkung von etwa 40° nach der rechten, die andere aber für sich allein eine Ablenkung von 35° nach der linken Seite bewirkte; läßt man nun beide Wärmequellen gleichzeitig wirken, so erhält man eine Ablenkung von 15° nach der rechten Seite. Eine Ablenkung von 5° zwischen 35 und 40° entspricht also einer Ablenkung von 15°, von 0 an gerechnet. Man begreift nun, wie man durch Abänderung dieser Versuche eine Tabelle entwerfen kann, deren erste Columne die beobachteten Ablenkungen, die zweite aber die entsprechende Anzahl von Graden enthält, welche man

erhalten würde, wenn die Ablenkung stets der Stromstärke proportional wäre, wenn also die Wirkung des Stromes auf die Nadel nicht um so schwächer wäre, je mehr sie abgelenkt ist. Für den Apparat, mit welchem Melloni seine Versuche anstellte, waren die Zahlen in beiden Columnen bis 20° ganz gleich, d. h. bis 20° ist die Ablenkung der Nadel der Stromstärke proportional; den beobachteten Ablenkungen 25, 30, 35, 40 und 45° entsprechen aber die Werthe 27, 35, 47, 62 und 83° der zweiten Columne. Ein Strom also, welcher eine Ablenkung von 40° bewirkt, ist 62mal stärker als ein anderer, welcher nur eine Ablenkung von 1° hervorbringt. Melloni hat jedoch seine Versuche so eingerichtet, daß die Ablenkungen stets kleiner als 30° waren.

Kehren wir nun wieder zu unseren Versuchen zurück; wenn man in den Brennpunkt des einen Spiegels einen der eben beschriebenen Apparate, in den Brennpunkt des andern aber irgend einen Körper von 1 bis 2 Centimeter Ausdehnung bringt, so wird sich zeigen, daß dieser stets Wärme ausstrahlt, sobald seine Temperatur nur etwas die Temperatur der Umgebung übersteigt. Wenn man den Versuch in einem Zimmer anstellt, dessen Temperatur unter 0° ist, so wird ein Stück schmelzenden Eises, in den Brennpunkt des einen Spiegels gebracht, die Temperatur im andern Brennpunkte erhöhen.

Wenn die Temperatur der Umgebung über 0° ist, so wird ein Stück Eis, in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels gebracht, das Sinken eines Thermometers veranlassen, welches sich im Brennpunkte des andern Hohlspiegels befindet. Dies beweis't aber nicht, daß eine Kältestrahlung stattfindet, das Thermometer sinkt, weil es mehr Wärme nach dem Eise ausstrahlt, als es von dem Eise zurückempfängt.

Wenn man des Nachts einen Hohlspiegel gegen den heitern Himmel richtet, so wird ein Thermometer, welches im Brennpunkte dieses Hohlspiegels sich befindet, sinken müssen, weil es seine Wärme nach dem freien Himmelsraume ausstrahlt, ohne daß von dorther sein Wärmeverlust ersetzt wird.

Wenn man Melloni's Thermomultiplicator anwendet, so hat man gar keine Hohlspiegel mehr nöthig, um die Wärmestrahlung nachzuweisen, man braucht nur an dem einen Ende der thermoelektrischen Säule die conische Hülse *b* anzusetzen, welche die Wärmestrahlen etwas concentrirt; wenn man in einer Entfernung von mehreren Schritten die Hand gegen die Oeffnung der Hülse *b* hält, so ist die von ihr ausgehende Wärmestrahlung schon hinreichend, um die Nadel bedeutend abzulenken.

164 **Wärmestrahlungsvermögen der Körper.** Das Vermögen der Körper, die Wärme auszustrahlen, ist sehr ungleich und hängt wesentlich von dem Zustande der Oberflächen ab; im Allgemeinen strahlen die Ober-

flächen der weniger dichten Körper unter sonst gleichen Umständen mehr Wärme aus als die Oberflächen dichter Körper. Die Ungleichheit des Strahlungsvermögens verschiedener Oberflächen hat Leslie folgendermaßen nachgewiesen: Er brachte in den Brennpunkt eines Hohlspiegels die eine Kugel seines Differentialthermometers und stellte in einiger Entfernung in der Axe des Hohlspiegels einen hohlen mit heißem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech auf, dessen Seite 15 bis 18 Centimeter lang war; die eine Seitenfläche dieses Würfels war mit Ruß überzogen, eine andere polirt; wurde nun die polirte Fläche dem Spiegel zugekehrt, so war die Wirkung auf das Differentialthermometer bei weitem geringer, als wenn man die berußte Fläche dem Spiegel zukehrte; die mit Ruß geschwärzte Fläche strahlt also weit mehr Wärme aus als die polirte Metallfläche.

Diese Methode ist zwar ganz geeignet, um die Unterschiede im Strahlungsvermögen sichtbar zu machen; um aber genauere Vergleichungen anzustellen, ist Melloni's Verfahren bei weitem vorzüglicher; er stellte in passender Entfernung von der Thermosäule einen Hohlwürfel von Messingblech auf, dessen Seite 7 bis 8 Centimeter lang und welcher mit heißem Wasser gefüllt war, welches durch eine Weingeistlampe auf constanter Temperatur erhalten wurde; die Seitenflächen dieses Würfels waren auf verschiedene Weise präparirt, nämlich eine mit Ruß, eine mit Bleiweiß, eine mit Tusch überzogen und eine polirt. Je nachdem die eine oder die andere Seitenfläche dem Thermomultiplicator zugekehrt ist, sind die Ablenkungen der Nadel sehr ungleich, aus den beobachteten Ablenkungen ergiebt sich dann ohne Weiteres das Verhältniß, in welchem die Emissionsfähigkeit der verschiedenen Flächen zu einander steht. Auf diese Weise wurde das Ausstrahlungsvermögen folgender Körper bestimmt:

Kienruß	100	Tusch	85
Bleiweiß. . . .	100	Gummilack . .	72
Hausenblase . .	91	Metallfläche . .	12.

Wenn man also mit 100 das Ausstrahlungsvermögen des Kienrusses bezeichnet, so ist das Ausstrahlungsvermögen einer polirten Metallfläche gleich 12, also nur $\frac{12}{100}$ von der der Kienrußfläche.

Melloni hat gezeigt, daß das Strahlungsvermögen eines und desselben Metalls von seiner Dichtigkeit abhängt, denn eine gegossene Platte strahlt mehr Wärme aus als eine gehämmerte und gewalzte. Wenn man die Oberfläche einer gehämmerten polirten Metallplatte ritzt, so wird ihr Strahlungsvermögen erhöht, weil durch das Ritzen weniger dichte Stellen bloßgelegt werden; eine solche Erhöhung des Strahlungsvermögens durch

Ritzen tritt bei gegossenen und ohne Druck polirten Metallplatten nicht ein, ja bei solchen wird sogar das Strahlungsvermögen etwas vermindert, weil beim Ritzen immer ein geringer Druck ausgeübt, also die Dichtigkeit an einigen Stellen des Metalls etwas vergrößert wird.

Bei solchen Körpern, deren Dichtigkeit durch Druck nicht geändert werden kann, wie Marmor, Glas u. s. w., hat das Ritzen der Oberfläche gar keinen Einfluß auf das Strahlungsvermögen.

Nachdem wir das Emissionsvermögen der Körper betrachtet haben, ist zu untersuchen, was aus den Wärmestrahlen wird, welche irgend einen Körper treffen; es sind hier nur folgende Fälle möglich: entweder werden die Wärmestrahlen absorbirt, oder sie werden an seiner Oberfläche zurückgeworfen, oder sie werden durchgelassen. Wir wollen nun diese einzelnen Fälle der Reihe nach betrachten.

165 **Absorption der Wärmestrahlen.** Jeder Körper hat das Vermögen, Wärmestrahlen, die, von einem andern Körper kommend, ihn treffen, mehr oder weniger zu absorbiren; dies ergiebt sich schon aus den eben besprochenen Versuchen, denn die Körper erwärmen sich in dem Brennpunkte des einen Hohlspiegels nur deshalb, weil sie die Wärmestrahlen absorbiren, welche durch die Spiegel auf ihnen concentrirt werden. Daß dies Vermögen aber allen Körpern zukommt, ergiebt sich daraus, daß alle, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, eine Temperatur annehmen, welche höher ist als die Temperatur der Luft.

Das Absorptionsvermögen ist nicht für alle Körper gleich, was schon daraus hervorgeht, daß sie nicht gleiches Emissionsvermögen haben, denn eine Oberfläche, welche leicht Wärmestrahlen aussendet, muß umgekehrt auch die Fähigkeit haben, diese Strahlen einzusaugen. Die Ungleichheit des Absorptionsvermögens läßt sich schon durch einen einfachen Versuch zeigen: Man setze nur ein Thermometer, dessen Kugel geschwärzt ist, den Sonnenstrahlen aus, so wird es weit höher steigen als ein anderes, dessen Kugel nicht geschwärzt ist; die geschwärzte Oberfläche der einen Thermometerkugel absorbirt also offenbar mehr Wärmestrahlen als die glänzende Oberfläche der andern.

Die von einem Körper absorbirten Wärmestrahlen sind es also, welche ihn erwärmen; wenn also ein Körper durch Wärmestrahlung möglichst stark erwärmt werden soll, so muß man ihn mit einem Ueberzuge versehen, welcher die Wärmestrahlen stark absorbirt; man überzieht deshalb auch alle Thermoskope, welche dazu dienen sollen, die Wirkungen der Wärmestrahlung recht merklich zu machen, die Kugeln der Differentialthermometer, die beiden Enden der thermoelektrischen Säule mit Ruß, weil dieser unter allen bekannten Körpern das stärkste Absorptionsvermögen hat.

Wir haben oben gesehen, daß metallische Oberflächen nur ein sehr

geringes Emissionsvermögen besitzen, und daraus folgt, daß sie die Wärmestrahlen auch nur in einem sehr geringen Maaße einzusaugen im Stande sind.

Weiter unten, wenn wir die ungleiche Natur der verschiedenen Wärmestrahlen werden kennen gelernt haben, wird von dem Absorptionsvermögen noch ausführlicher die Rede seyn.

166 **Reflexion und Diffusion der Wärmestrahlen.** Im Allgemeinen haben die Körper die Fähigkeit, einen Theil der sie treffenden Wärmestrahlen ganz in der Weise zurückzuwerfen, wie sie auch die Lichtstrahlen regelmäßig oder unregelmäßig reflectiren. Die Spiegel, die uns zu den obigen Versuchen dienten, geben uns einen entscheidenden Beweis für die Reflexion der Wärmestrahlen, denn sie erwärmen sich selbst bei dem Versuche mit dem Zunder nicht. Ein einfacher Schluß überzeugt uns, daß die meisten Körper dieses Reflexionsvermögen besitzen müssen und daß es dem Absorptionsvermögen so zu sagen complementär ist, denn die Summe der absorbirten und der reflectirten Wärmestrahlen muß doch offenbar der Gesammtheit der einfallenden Strahlen gleich seyn, vorausgesetzt, daß der Körper keine Wärmestrahlen durchläßt. Wenn also das Reflexionsvermögen größer ist, so ist das Absorptionsvermögen geringer, und umgekehrt. Ein Körper, der gar keine Wärmestrahlen reflectirt, muß alle Strahlen absorbiren, wie dies in der That bei solchen Oberflächen der Fall ist, die man sorgfältig mit Ruß überzogen hat; polirte Metallflächen dagegen, welche ein großes Reflexionsvermögen besitzen, absorbiren nur sehr wenig Wärmestrahlen.

Die Wärmestrahlen werden ganz nach denselben Gesetzen reflectirt wie die Lichtstrahlen, d. h. der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich; dies geht schon aus den Versuchen mit den Hohlspiegeln hervor, da ja die Brennpunkte für die Wärmestrahlen mit denen der Lichtstrahlen zusammenfallen.

So wie an der Oberfläche eines nicht ganz vollständig polirten Körpers Lichtstrahlen nach allen Seiten unregelmäßig zerstreut werden, so erleiden auch die Wärmestrahlen an der Oberfläche der meisten Körper eine Diffusion. Man kann sich davon durch folgenden Versuch überzeugen. Man lasse durch eine Oeffnung in dem Laden eines dunklen Zimmers Sonnenstrahlen auf eine der Oeffnung gegenüberliegende Wand fallen, so wird der erleuchtete Fleck derselben, welcher von allen Seiten her sichtbar ist, weil er das Sonnenlicht nach allen Seiten hin zerstreut, auch die Wärmestrahlen unregelmäßig zerstreuen, also nach allen Seiten hin Wärmestrahlen aussenden, als ob er selbst eine Wärmequelle wäre. Diese Diffusion der Wärmestrahlen wird sichtbar, wenn man dem hellen Flecke die thermoelektrische Säule zukehrt; man erhält einen Ausschlag der Nadel,

an welcher Stelle des Zimmers man auch das Instrument aufstellen mag; die Wirkung kann also nicht von einer regelmäßigen Reflexion herrühren; daß sie aber auch nicht die Folge einer Erwärmung der von den Sonnenstrahlen beschienenen Stelle der Wand ist, geht daraus hervor, daß die Nadel auf der Stelle wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückgeht, sobald man die Oeffnung im Laden verschließt.

Auch von der Diffusion der Wärmestrahlen wird weiter unten noch ausführlicher die Rede seyn.

167 **Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen.** Daß feste Körper Wärmestrahlen in derselben Weise durchlassen können, wie durchsichtige Körper die Lichtstrahlen, geht schon daraus hervor, daß man im Stande ist, brennbare Körper zu entzünden, wenn man sie in den Brennpunkt einer den Sonnenstrahlen ausgesetzten Linse hält. Genauere Untersuchungen wurden erst durch die thermoelektrische Säule möglich, und Melloni hat mit Hülfe derselben eine Reihe höchst wichtiger Untersuchungen über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Körper angestellt.

Diejenigen Körper, welche die Wärmestrahlen aufhalten, wie die undurchsichtigen Körper die Lichtstrahlen, nennt Melloni atherman, solche Körper hingegen, welche sich gegen die Wärmestrahlen verhalten wie die durchsichtigen Körper gegen die Lichtstrahlen, nennt er diatherman. Die Luft ist also ein diathermaner Körper, und wir werden sogleich sehen, daß auch sehr viele feste und flüssige Körper, wenn auch in sehr ungleichem Maaße, diatherman sind.

Die Versuche über den Durchgang der Wärmestrahlen wurden mit dem schon oben näher beschriebenen Apparate, Fig. 359, angestellt; als Wärmequellen dienten die Locatelli'sche Lampe *i*, eine Spirale von Platindraht, Fig. 360, welche durch eine Alkoholflamme rothglühend erhalten wurde; ein geschwärztes Kupferblech, Fig. 361, welches durch eine Weingeistlampe auf 400^0 erwärmt war, und endlich ein hohler Würfel, Fig. 362, von Messingblech, welcher mit heißem Wasser gefüllt war, das durch eine Lampe auf constanter Temperatur erhalten wurde. Diese constanten Wärmequellen wurden der Reihe nach auf den Träger *e* gesetzt. Der Schirm *o*, welcher aus zwei Messingplatten zusammengesetzt und um ein Charnier drehbar ist, kann zwischen die Wärmequelle und die Thermosäule gebracht werden, so daß man in jedem Augenblicke die Wärmestrahlung von der Thermosäule abhalten kann: die Platten endlich, welche man in Beziehung auf ihre Fähigkeit, Wärmestrahlen durchzulassen, untersuchen will, werden bei *r* aufgestellt.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt: Die Wärmequelle wurde in eine solche Entfernung gebracht, daß sie eine Ablenkung der Nadel

bis auf 30⁰ hervorbrachte; wurden nun die Wärmestrahlen durch eine bei *r* aufgestellte Platte des zu untersuchenden Körpers aufgefangen, so ging

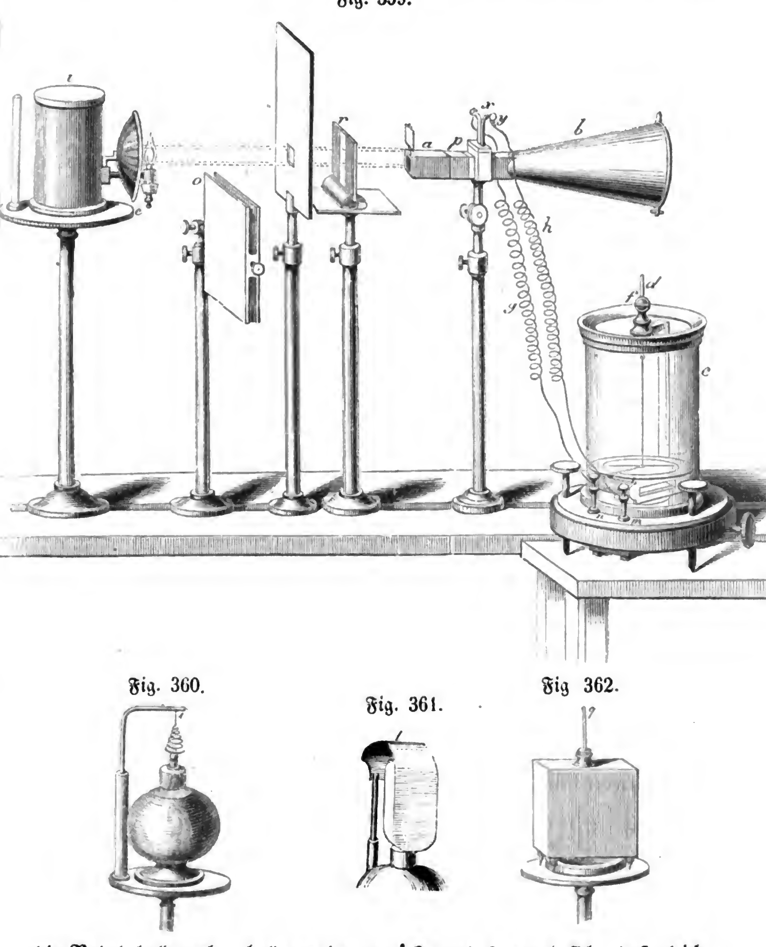


Fig. 359.

Fig. 360.

Fig. 361.

Fig 362.

die Nadel bald mehr, bald weniger zurück, und so ergab sich, daß gleich dicke und gleich durchsichtige Platten verschiedener Körper nicht gleiche Mengen strahlender Wärme durchlassen. Bewirkt z. B. die freie Strahlung der Wärmequelle eine Ablenkung von 30^0, so wird die Nadel auf 28^0 zurück-

gehen, wenn man eine 3 bis 4 Millimeter dicke Steinsalzplatte bei r aufstellt, während eine gleich dicke Quarzplate die Nadel auf 15 bis 16° zurückgehen macht; das Steinsalz läßt also die Wärmestrahlen bei weitem besser durch als der Bergkrystall. Manche weniger durchsichtige Körper lassen sogar die Wärmestrahlen besser durch als andere, die ganz durchsichtig sind. Während z. B. eine ganz durchsichtige Alaunplatte die Ablenkung der Nadel von 30° auf 3 bis 4° reducirt, bringt eine noch weit dickere Platte von Rauchtopas die Nadel nur auf 14 bis 15° zurück. Ja mancher fast ganz undurchsichtige Körper, wie schwarzes Glas und schwarzer Glimmer, lassen noch ziemlich viele Wärmestrahlen durch.

Aus den beobachteten Ablenkungen ergeben sich folgende Werthe für die Fähigkeit verschiedener Körper, die Wärmestrahlen durchzulassen.

Namen der Körper.	Locatelli'sche Lampe.	Glühende Platinspirale.	Geschwärztes bis zu 400° erwärmtes Kupferblech.	Geschwärztes bis zu 100° erwärmtes Messingblech.
Freie Strahlung der Wärmequelle	100	100	100	100
Steinsalz	92	92	92	92
Flußspath, klar, farblos . . .	78	69	42	33
Kalkspath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps, krystallisirt	14	5	0	0
Citronensäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes Glas, 1mm dick . .	26	25	12	0
Schwarzer Glimmer, 0,9mm dick	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Wo die Dicke der Platte nicht bemerkt ist, betrug sie 2,6 Millimeter.

Die Betrachtung dieser Tabelle führt uns zu sehr wichtigen Folgerungen. Wir sehen, daß das Steinsalz die Strahlen aller Wärmequellen mit gleicher Leichtigkeit durchläßt, was bei allen anderen angeführten Substanzen nicht der Fall ist. Wir sehen z. B., daß eine Flußspathplatte 78 Procent der Strahlen durchläßt, welche von der Locatelli'schen Lampe kommen, aber nur 33 Procent der Wärmestrahlen, welche von einer berußten, bis zu

100^0 erwärmten Metallfläche ausgestrahlt werden. Das schwarze Glas läßt die Wärmestrahlen der Locatelli'schen Lampe und der glühenden Platinspirale fast gleich gut durch, von der ersteren Quelle nämlich 26, von der zweiten 25 Procent; es läßt gar keine der Wärmestrahlen durch, welche von der vierten, und nur 12 Procent der Strahlen, welche von der dritten Wärmequelle kommen.

Daraus geht hervor, daß die Wärmestrahlen, welche von den verschiedenen Wärmequellen kommen, nicht ganz gleicher Natur sind, denn sonst müßte jeder Körper die Strahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse durchlassen. Dieser Unterschied in der Natur der Wärmestrahlen treten aber noch deutlicher hervor, wenn man die Wärmestrahlen durch mehrere hinter einander aufgestellte Körper gehen läßt.

Läßt man die Wärmestrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen sind, auf eine Alaunplatte fallen, so werden sie gänzlich absorbirt, während doch eine Alaunplatte fast alle Wärmestrahlen durchläßt, welche zuvor durch eine Platte von Citronensäure gegangen sind. Diese Erscheinung hat die größte Aehnlichkeit mit dem Durchgange des Lichts durch gefärbte Mittel; Lichtstrahlen, welche durch ein grünes Glas gegangen sind, werden bekanntlich von andern grünen Gläsern leicht durchgelassen, sie werden aber absorbirt, wenn man sie auf ein rothes Glas fallen läßt; die Unterschiede zwischen den Wärmestrahlen sind also den Verschiedenheiten der Farben beim Lichte ganz analog.

Melloni nannte die Eigenschaft der Körper, gewisse Wärmestrahlen vorzugsweise absorbiren, andere hingegen vorzugsweise durchzulassen, Diathermansie; man könnte diese Eigenschaft nach Pouillet's Vorschlage auch Thermanismus, die Körper aber, welchen sie zukommt, thermanisirende nennen. Thermanisirte Wärmestrahlen wären demnach solche, welchen dadurch, daß sie einen thermanisirenden Körper durchdrungen haben, gleichsam eine Wärmefärbung erhalten haben, wie den Lichtstrahlen, indem sie durch farbige Gläser gehen, eine bestimmte Farbe ertheilt wird. Das Steinsalz ist der einzige bis jetzt bekannte feste diathermane Körper, welcher die Wärmestrahlen nicht thermanisirt, denn das Steinsalz läßt ja alle Wärmestrahlen gleich gut durch, es verhält sich gegen die Wärmestrahlen wie ein farbloser durchsichtiger Körper gegen das Licht.

Wenn man mit 100 die Intensität der Wärmestrahlen bezeichnet, welche auf eine Steinsalzplatte fallen, so ist die Intensität der durchgelassenen Strahlen nach unserer Tabelle 92, oder genauer 92,3, der Rest der auffallenden Strahlen, welcher nicht durch die Platte hindurchgeht, ist 7,8 oder ungefähr $1/_{13}$ der einfallenden Strahlen; dieser Rest kann nun entweder absorbirt, oder an den beiden Oberflächen der Steinsalzplatte rechtwinklig reflectirt worden seyn; in der That findet nur das Letztere

d. h. im Steinsalz findet gar keine merkliche Absorption der Wärmestrahlen Statt. Zu diesem Schlusse ist man schon dadurch berechtigt, daß die Dicke einer Steinsalzplatte gar keinen Einfluß auf die Quantität der durchgelassenen Wärmestrahlen ausübt; eine Steinsalzplatte von 1 Millimeter Dicke läßt die Wärmestrahlen nicht besser durch als eine andere, welche mehrere Centimeter dick ist.

Dieser Schluß wird durch folgende Versuche zur Gewißheit.

Bringt man einmal eine 8 Millimeter dicke Glasplatte, dann aber 6 Glasplatten von derselben Glassorte in den Apparat, welche zusammen 8 Millimeter dick sind, so wird sich die Menge der Wärmestrahlen, welche die eine Platte durchläßt, zu der, welche durch die 6 Platten geht, wie 23 zu 15 verhalten. In beiden Fällen ist der Verlust durch Absorption ganz derselbe; wenn also das System von 6 Platten weniger Wärmestrahlen durchläßt, so kann dies nur eine Folge der mehrfachen Reflexionen seyn. Weil die Absorption in der einen dicken Platte dieselbe Wirkung ausübt, wie in den 6 dünnen, so kann man sie ganz unberücksichtigt lassen, man kann annehmen, sie sey gleich Null, oder auch, es wären nur Strahlen von einer solchen Wärmefärbung eingefallen, daß sie gar nicht vom Glase absorbirt werden; bezeichnen wir unter dieser Voraussetzung mit 1 die Intensität der einfallenden Strahlen, mit r den durch die Reflexion an den beiden Oberflächen hervorgebrachten Verlust, so ist die Intensität der Wärmestrahlen, welche durch eine Platte durchgehen, $1 - r$; die Itensität der Wärmestrahlen, welche die 6 Platten durchlaufen haben, wird demnach $(1 - r)^6$ seyn. Die Wärmemenge, welche durch eine Platte hindurchgeht, verhält sich demnach zu der, welche die 6 Platten durchlassen, wie $1 - r$ zu $(1 - r)^6$ oder wie 1 zu $(1 - r)^5$. Nach dem Versuche verhalten sich aber diese Wärmemengen wie 23 zu 15, wir haben also

$$23 : 15 = 1 : (1 - r)^5,$$

und daraus folgt $(1 - r)^5 = 0{,}65217 \ldots$, also $1 - r = 0{,}918$ und $r = 1 - 0{,}918 = 0{,}082$. Aus diesem Versuche ergiebt sich also für den Verlust durch Spiegelung an den beiden Flächen einer Glasplatte der Werth 0,082, was fast gleich $1/_{13}$ und dem entsprechenden Werthe für Steinsalz ganz gleich ist. Bergkrystall, senkrecht auf die Axe geschnitten, giebt denselben Werth, und man kann daraus folgende Schlüsse ziehen
1) Das Steinsalz läßt die Wärmestrahlen ohne merkliche Absorption durch;
2) die rechtwinklige Reflexion an der ersten und zweiten Oberfläche einer Platte von Steinsalz, Glas oder Quarz beträgt nur $1/_{13}$ der einfallenden Wärmestrahlen.

168 **Einfluß der Dicke diathermaner Platten auf die Durchlassung der Wärmestrahlen.** Wir haben gesehen, daß das Steinsalz keine merkliche Absorption auf die Wärmestrahlen ausübt, wenigstens wenn die

Platten nur 3 bis 4 Centimeter dick sind; das Steinsalz ist aber auch der einzige vollkommen diathermane Körper; alle anderen Körper absorbiren mehr oder weniger Wärmestrahlen, die Größe der Absorption hängt aber nicht allein von der Natur der Wärmequelle, sondern auch von der Dicke der Platten ab.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate, welche in dieser Hinsicht für Glas, durchsichtigen Bergkrystall, Rauchtopas, Rüböl und destillirtes Wasser beobachtet wurden.

Dicke in Millimetern	Glas von St. Gobin			Durchsichtiger Bergkrystall			Rauchtopas			Rüböl		Destillirtes Wasser	
	Locatelli'sche Lampe	Glühendes Platin	Kupfer von 400°	Locatelli'sche Lampe	Glühendes Platin	Kupfer von 400°	Locatelli'sche Lampe	Glühendes Platin	Kupfer von 400°	Locatelli'sche Lampe	Glühendes Platin	Locatelli'sche Lampe	Glühendes Platin
0,5	77,5	62,1	14,4	78,6	69,5	14,8	81,7	70,0	15,4	64,0	32,0	25,1	8,7
1,0	73,3	51,5	9,9	76,8	65,1	11,3	78,6	65,0	12,3	48,3	22,8	19,3	5,7
1,5	70,4	46,1	6,7	74,8	62,5	9,7	"	"	"	41,0	18,7	16,0	4,2
2,0	68,2	42,8	5,0	73,3	60,6	8,7	75,1	60,3	9,1	36,1	16,3	13,9	3,2
2,5	66,6	"	"	72,5	"	"	"	"	"	32,7	"	"	"
3	65,3	38,3	2,9	71,8	57,6	7,3	73,1	57,4	7,8	30,6	13,6	11,4	2,0
4	63,4	35,8	2,0	70,8	55,3	6,6	71,4	54,8	7,0	27,8	12,0	10,0	1,5
5	62,0	34,0	1,5	70,2	53,3	6,0	"	"	"	25,7	10,8	9,1	1,1
6	60,9	32,3	1,4	69,8	51,4	5,3	"	"	"	23,9	9,8	8,6	1,0
7	60,0	30,9	1,2	69,5	49,6	5,0	"	"	"	22,6	8,9	8,2	0,8
8	59,2	29,7	1,1	69,3	48,4	4,6	"	"	"	21,8	8,1	8,0	0,6
9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	21,2	7,5	7,8	0,5
10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	21,0	7,1	7,7	0,4
11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	20,9	6,7	7,7	0,3
50	"	"	"	"	"	"	"	"	"	12,5	2,1	2,4	0,0
86	"	"	"	"	"	"	59,0	35,0	0,7	"	"	"	"
100	"	"	"	"	"	"	"	"	"	8,1	1,2	1,3	0,0
150	"	"	"	"	"	"	"	"	"	6,1	"	0,7	0,0
200	"	"	"	"	"	"	"	"	"	5,3	"	"	"

Nicht alle Zahlen dieser Tabelle sind das unmittelbare Resultat des Versuchs, weil es nicht immer möglich war, Platten zu erhalten, welche

genau $1/2$, $2/2$, $3/2$ u. s. w. Millimeter dick waren; die Zahlen, welche diesen Dicken entsprechen, wurden durch Interpolation aus den benachbarten beobachteten Werthen abgeleitet.

Das Rüböl wurde, um es dem Versuche zu unterwerfen, in ein Behälter gegossen, welches auf beiden Seiten mit Steinsalzplatten begränzt war. Wenn die Dicke der Oelschicht mehr als 3 Millimeter betrug, so war es gleichgültig, ob sie zwischen Glasplatten oder zwischen Steinsalzplatten eingeschlossen war.

Nachdem ermittelt worden war, daß reines Wasser ebenso wirkt wie Salzwasser, war es leicht zu erkennen, daß eine Wasserschicht denselben Effect hervorbringt, mag sie nun zwischen Glasplatten oder zwischen Steinsalzplatten eingeschlossen seyn.

Man sieht, daß für die fünf Körper die Absorption bei einer Dicke von $1/2$ Millimeter schon sehr beträchtlich und daß sie um so bedeutender wird, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle ist.

Die Absorption nimmt bei zunehmender Dicke anfangs rasch zu, sie scheint sich aber einer bestimmten Gränze zu nähern, denn für eine bedeutende Dicke hat eine Vermehrung derselben keinen merklichen Einfluß mehr. Es läßt sich dies am besten durch eine graphische Darstellung der in unserer Tabelle zusammengestellten Resultate übersehen. In Fig. 363 sind die Abscissen der Dicke der Platten, die Ordinaten der Intensität der Wärmestrahlen proportional, welche eine Glasplatte der entsprechenden Dicke durchläßt. Die oberste Kurve entspricht dem Falle, daß die einfallenden Strahlen von der Locatelli'schen Lampe kommen, die zweite gilt für das glühende Platin, die dritte für das auf 400° erwärmte Kupferblech.

Fig. 363.

100

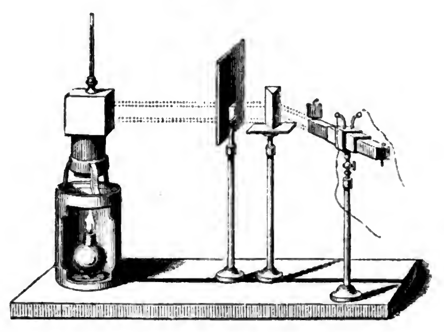
0 2 4 6 8

Wir sehen aus dieser Zusammenstellung auch, daß die Wärmestrahlen der verschiedenen Wärmequellen aus sehr verschieden absorbirbaren Elementen bestehen; um die Strahlen der einen Quelle fast vollständig zu absorbiren, ist nur eine sehr geringe Dicke nöthig, während andere Strahlen selbst bei einer sehr bedeutenden Dicke der Absorption widerstehen. Die Wärmequellen von niedriger Temperatur enthalten im Allgemeinen eine größere Anzahl absorbirbarer Elemente, wenigstens für die in unserer Tabelle enthaltenen Substanzen.

169 **Brechung der Wärmestrahlen.** Auf einem Statif, Fig. 364, wird eine Prisma von Steinsalz und in einiger Entfernung die Locatelli'sche Lampe aufgestellt; man sucht alsdann die Richtung, in welcher die von der Lampe ausgehenden Lichtstrahlen für den Fall der geringsten Ab-

lenkung aus dem Prisma austreten und bringt dann die thermoelektrische Säule in diese Richtung; die Nadel wird alsbald abgelenkt; sie geht aber


Fig. 364.



sogleich wieder zurück, wenn man die von der Wärmequelle auf das Prisma fallenden Strahlen durch einen Schirm auffängt. Die Nadel wird auch noch abgelenkt, wenn man an die Stelle der Lampe eine glühende Platinspirale, das bis auf 400° erhitzte Kupferblech oder selbst den mit kochendem Wasser gefüllten Würfel setzt. Die Ablenkung der Nadel hört auf, wenn man die Säule etwas dreht, so daß sie aus der Richtung der gebrochenen Strahlen herauskommt. Die Strahlen der verschiedenen Wärmequellen werden also durch das Steinsalz gebrochen, und ihr Brechungsexponent ist von dem der Lichtstrahlen nicht merklich verschieden.

Wenn man mit Sonnenlicht und einem Steinsalzprisma operirt, welches ein sehr breites Spectrum giebt, so kann man die wahre Zusammensetzung der Sonnenwärme studiren; es ergiebt sich auf diese Weise, daß sie Elemente von sehr verschiedener Brechbarkeit enthält, die zum Theil noch brechbarer sind als das violette Licht, zum Theil aber noch weniger brechbar als die rothen Strahlen. Das Maximum der Wirkung des Wärmespectrums der Sonne liegt noch jenseits der Gränze des rothen Endes des Lichtspectrums. Es zeigt sich auch, daß die meisten thermanisirenden Körper vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen absorbiren, die brechbareren aber durchlassen; da sie nun aber auch die Wärmestrahlen absorbiren, welche von Wärmequellen niedriger Temperatur kommen, so folgt, daß durch Erhöhung der Temperatur vorzugsweise die Menge der brechbaren Wärmestrahlen vermehrt wird.

Man sieht wohl ein, daß die Sonnenspectra solcher Prismen, welche aus anderen Substanzen verfertigt sind, nicht dieselbe Vertheilung der Wärme zeigen können, we diese Substanzen die Wärmestrahlen in verschiedenem

Verhältnisse absorbiren. Diese Bemerkung reicht wohl hin, um die Verschiedenheit der Resultate zu erklären, welche die Physiker erhalten hatten, bevor Melloni das Princip des Thermanismus begründet hatte.

170 **Ungleichheit des Absorptions- und Diffusionsvermögens für die Strahlen verschiedener Wärmequellen.** Da die diathermanen Körper bald die Wärmestrahlen der einen, bald die der andern Wärmefarbe vorzugsweise absorbiren, so fragt es sich, ob nicht auch bei den athermanen Körpern etwas Aehnliches stattfindet, d. h. ob die athermanen Körper die Wärmestrahlen aller Arten mit gleicher Leichtigkeit absorbiren oder nicht?

Um diese Frage zu beantworten, stellte Melloni folgende Versuche an: Aus einer und derselben Kupfertafel wurde eine Anzahl Scheiben geschnitten, deren Durchmesser nur wenig größer war als der Durchmesser der äußern Oeffnung des an die thermoelektrische Säule angesetzten conischen Reflectors; alle diese Scheiben wurden auf der einen Seite durch Ruß geschwärzt, auf der andern Seite aber mit einem gleichmäßigen Anstriche der zu prüfenden Substanz versehen; diese Scheiben wurden nun nach einander dicht vor die Oeffnung des conischen Reflectors gebracht, indem die geschwärzte Seite der Säule, die andere aber der Wärmequelle zugekehrt war. Durch die an der Vorderseite absorbirten Wärmestrahlen wurde die Platte erwärmt und sandte in Folge dessen auf der andern Seite Wärmestrahlen nach der Säule. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Körper	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Kupfer von 100°.
Kienruß	100	100	100
Bleiweiß	56	89	100
Hausenblase	54	64	91
Tusch	95	87	85
Gummilack	47	70	72
Blanke Metallfläche . .	13,5	13	13

Es ist hier das Absorptionsvermögen des Kienrusses mit 100 bezeichnet und damit das Absorptionsvermögen der anderen Körper verglichen worden, indem man einmal eine auf beiden Seiten berußte Scheibe und darauf die nur auf der einen Seite berußte, auf der andern mit dem zu untersuchenden Körper überstrichene vor die Säule setzte. Man sieht aus dieser Tabelle, daß das Bleiweiß bei weitem weniger Wärmestrahlen absorbirt als der Kienruß, wenn das glühende Platin als Wärmequelle dient; die von dem auf 400° erwärmten Kupferbleche ausgehenden Strahlen werden schon

vollständiger vom Bleiweiß absorbirt; die Wärmestrahlen endlich, welche von der nur auf 100° erwärmten Wärmequelle ausgehen, werden durch das Bleiweiß eben so vollständig absorbirt als vom Kienruß.

Der Tusch zeigt ein umgekehrtes Verhalten, er absorbirt die Strahlen, welche von einer Wärmequelle von geringer Temperatur herkommen, weniger gut als die vom glühenden Platin ausgesandten.

Das Bleiweiß absorbirt also vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen, der Tusch hingegen die brechbareren.

Der Kienruß absorbirt unter allen bekannten Körpern die Wärmestrahlen am vollständigsten, es folgt aber daraus doch noch nicht, daß er wirklich die Wärmestrahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse absorbirt. Die vollständige Kenntniß der Art und Weise, wie der Kienruß die verschiedenen Wärmestrahlen absorbirt, ist von der höchsten Wichtigkeit, weil alle Thermoskope, welche man zur Untersuchung der strahlenden Wärme anwendet, mit Ruß überzogen sind. Bei allen Untersuchungen mit der Thermosäule wurde stillschweigend angenommen, daß der Kienruß alle Wärmestrahlen gleichförmig absorbire, und alle aus den Beobachtungen mit diesem Instrument gezogenen Folgerungen würden falsch seyn, wenn diese Voraussetzung unwahr wäre; Melloni hat die Richtigkeit dieser Voraussetzung durch folgende Versuche bewiesen.

Es sey ab eine auf beiden Seiten berußte Scheibe von Kupferblech, welche 15 bis 20 Centimeter Durchmesser hat. Vor der Scheibe ab ist ein Metallschirm cd aufgestellt, welcher die Thermosäule in T vor der directen Wirkung der von der Wärmequelle Q ausgehenden Strahlen schützt.

Fig. 365.

Die Thermosäule war am Ende einer horizontalen Alhidade befestigt, die um einen Stift drehbar war, welcher in der Richtung der durch den Mittelpunkt der Scheibe gehenden Vertikallinie lag, so daß man die Thermosäule leicht von T nach T' und wieder zurückbringen konnte. Zuerst wurde die Säule in die Lage T' gebracht; die Scheibe ab erwärmte sich durch die von Q ausgehenden und auf der Vorderseite von ab absorbirten Strahlen, und in Folge dieser Erwärmung sandte dann die hintere Seite der Scheibe selbst Wärmestrahlen nach der Thermosäule. Man rückte die Wärmequelle so, daß das Maximum der Wirkung auf die Thermosäule in T' eine Ablenkung von ungefähr 12° hervorbrachte. Nun wurde die Säule nach T gebracht; jetzt mußte die Ablenkung größer seyn, denn die vordere Fläche sendet nicht allein Wärmestrahlen in Folge der Erwärmung der Scheibe aus, sondern sie zerstreut auch einen Theil der von Q kommenden Wärmestrahlen. Diese Versuche gaben folgende Resultate:

	Wirkungen der	
	hinteren Fläche.	vorderen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	12,36°	14,58°
Entsprechende Kräfte . .	100	118
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	12,26°	14,35°
Entsprechende Kräfte . .	100	117
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	11,83°	14,08°
Entsprechende Kräfte . .	100	119

Die Wirkungen, welche die hintere und die vordere Fläche hervorbringen, stehen also stets in demselben Verhältnisse, in dem Verhältnisse von 100 zu 118, welche Wärmequelle man auch anwenden mag. Auf der Vorderfläche findet also eine schwache Diffusion Statt, aber das Verhältniß zwischen Diffusion und Absorption ist stets dasselbe, *der Kienruß hat also in der That für Wärmestrahlen aus allen Quellen gleiches Absorptionsvermögen*.

Da der Kienruß alle Wärmestrahlen fast ganz absorbirt, so ist er so zu sagen *schwarz* für die Wärmestrahlen wie für die Lichtstrahlen.

Nun drängt sich die interessante Frage auf, ob es Körper giebt, welche alle Wärmestrahlen gleich gut zerstreuen, also Körper, welche für die Wärmestrahlen das sind, was ein *weißer* Körper für das Licht ist. Solche wärme-weißen Körper sind nun die Metalle, denn aus der Tabelle auf Seite 430 sehen wir, daß sie die Wärmestrahlen aller Arten in gleichem Maße absorbiren, folglich müssen sie auch alle Wärmestrahlen in gleichem Verhältnisse zerstreuen.

Aus der auf Seite 430 angeführten Tabelle ersieht man, daß das Bleiweiß nicht alle Wärmearten gleich gut absorbirt, und daraus folgt denn, daß auch sein Diffusionsvermögen für die Wärmestrahlen verschiedener Wärmequellen sehr ungleich seyn müsse. *Melloni* hat dies auch durch den Versuch direct bewiesen. Die Wärmequelle Q, Fig. 366, und die thermoelektrische Säule

Fig. 366.

T waren gerade ebenso aufgestellt, wie bei dem Versuche, durch welchen die Gleichheit des Absorptionsvermögens des Kienrusses für alle Wärmestrahlen bewiesen wurde, die dünne Metallscheibe *ab* war aber nur auf der Rückseite geschwärzt, auf der Vorderseite hingegen mit Bleiweiß angestrichen; wenn sich nun die thermoelektrische Säule in *T'* befand, so wurde sie nur durch die von der Scheibe in Folge ihrer Erwärmung ausgestrahlte Wärme afficirt; befand sich aber die Säule in *T*, so wirkten außerdem auch noch die an der Vorderfläche zerstreuten Strahlen auf dieselbe. Die Resultate dieser Versuche waren folgende:

	Wirkungen der	
	hinteren schwarzen Fläche.	vorderen weißen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	11,51°	15,96°
Kräfte	93	129
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	10,32°	18,68°
Kräfte	84	152
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	8,13°	21,05°
Kräfte	69	181

Es sind also

die Ausstrahlungen der Hinterfläche . . .	93	84	69
Entsprechende Ausstrahlungen der Vorderfläche	129	152	181
Verhältniß beider	10/14	10/18	10/20

Die weiße Fläche hat also nicht gleiches Absorptions- und Diffusionsvermögen für alle Wärmearten.* Die Strahlen des auf 400° erhitzten Metalls werden von derselben fast eben so gut absorbirt als von der schwarzen; eine stärkere Diffusion und eine geringere Absorption erleiden die Strahlen des glühenden Platins, und dieses Verhältniß ändert sich noch mehr für die Locatelli'sche Lampe. Die weiße Fläche verhält sich demnach gegen die Wärmestrahlen wie eine farbige gegen das Licht; sie zerstreut nämlich Strahlen gewisser Wärmefarben, während sie andere Wärmestrahlen nicht zerstreut, sondern absorbirt.

Polarisation der Wärmestrahlen. Melloni hat die Polarisation **171**

der strahlenden Wärme durch folgenden Versuch nachgewiesen. An jedem Ende einer metallenen Röhre war ein Ring drehbar, welcher eine Säule von 8 bis 10 ganz dünnen Glimmerblättchen trägt, die so auf einander gelegt sind, daß die Ebene der optischen Axen für alle diese Blättchen dieselbe Lage hat; vor dieser Röhre befand sich eine Steinsalzlinse, in deren Brennpunkte die Wärmequelle aufgestellt war, so daß ein Bündel paralleler Wärmestrahlen auf die erste Glimmersäule fiel; auf der andern Seite der Röhre war die thermoelektrische Säule aufgestellt. Je nachdem die Ringe mit den Glimmersäulen um die Axe der Röhre gedreht wurden, konnte man die Glimmersäulen nach Belieben so stellen, daß ihre Polarisationsebenen parallel waren, oder daß sie sich rechtwinklig kreuzten. Außerdem war aber auch noch die Einrichtung getroffen, daß man die Neigung der Glimmersäule gegen die Axe der Röhre ändern konnte.

Die Wärmemenge, welche durch die beiden Glimmersäulen hindurchgeht, ist nun sehr ungleich, je nachdem die Polarisationsebenen der beiden Glimmersäulen parallel oder gekreuzt sind, wie man dies aus folgender Tabelle ersieht, welche die Resultate einer der zahlreichen von Melloni über die Polarisation der strahlenden Wärme angestellten Versuchsreihen enthält. Jede der beiden Glimmersäulen war bei dieser Versuchsreihe aus 10 Glimmerblättchen zusammengesetzt.

Neigung der Säulen gegen die Richtung der durchgehenden Strahlen.	Ablenkende Kraft der durchgelassenen Wärmestrahlen für	
	parallele Säulen.	gekreuzte Säulen.
45°	26,5	14,9
43	28,5	14,3
41	30,2	13,3
39	31,9	16,2
37	32,5	10,8
35	32,9	9,3
33	32,8	7,8
31	30,8	6,1
29	28,0	4,6
27	24,3	3,3
25	19,9	2,1
23	15	1,4

Wenn die Säulen gekreuzt sind, lassen sie also in der That weniger Wärmestrahlen durch, als wenn sie parallel sind, und zwar wächst der Unterschied um so mehr, je mehr sich die Ebene der Glimmerblättchen der Richtung der durch-

gehenden Wärmestrahlen nähert; die Glimmersäulen polarisiren also die Wärmestrahlen durch Brechung um so vollständiger, je schräger sie hindurchgehen.

Forbes, welcher in der That die ersten Versuche über die Polarisation der strahlenden Wärme angestellt hatte, glaubte aus seinen Beobachtungen den Schluß ziehen zu müssen, daß die Wärmestrahlen verschiedener Wärmequellen ungleich polarisirbar seyen, was nach Melloni's Versuchen durchaus nicht der Fall ist.

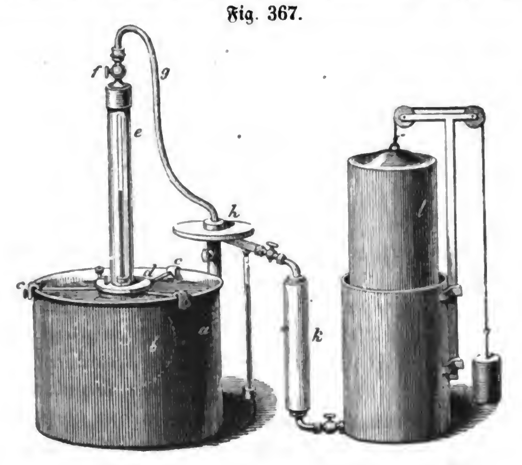
Auch durch Turmalinplatten lassen sich die Wärmestrahlen polarisiren, und ein zwischen die beiden Glimmersäulen gebrachtes Glimmerblättchen zeigt die Erscheinungen der Depolarisation der Wärmestrahlen ganz in der Art, wie eine doppeltbrechende Krystallplatte, zwischen die gekreuzten Spiegel des Polarisationsapparates gebracht, das Gesichtsfeld wieder hell machen kann; daraus geht denn hervor, daß die strahlende Wärme auch der doppelten Brechung fähig ist. Ohne über die Grenzen eines Lehrbuchs hinauszugehen, dürfen wir jedoch diesen interessanten Gegenstand nicht weiter verfolgen.

Interferenzerscheinungen der strahlenden Wärme hat man bis jetzt noch nicht nachweisen können.

172 **Gesetze des Erkaltens.** Seit Newton, welcher zuerst einige Grundsätze über das Erkalten der Körper aufgestellt hatte, sind von vielen Gelehrten experimentale und mathematische Untersuchungen angestellt worden, doch blieb die Frage von unüberwindlichen Schwierigkeiten umgeben, bis Dulong und Petit sie vollständig lös'ten. Ihre Arbeit wurde im Jahre 1818 von der Akademie der Wissenschaften zu Paris gekrönt.

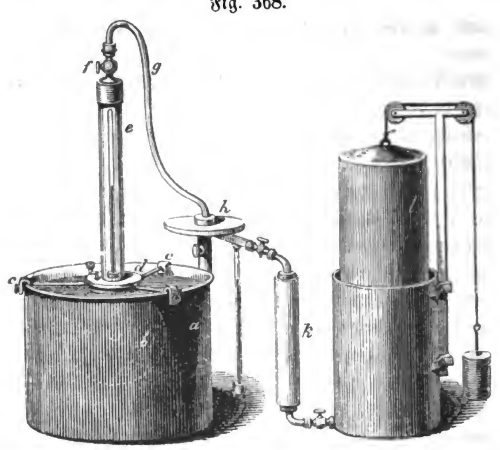
Der Apparat, den sie zu ihren Versuchen anwandten, ist Fig. 367 abge-

Fig. 367.



bildet; das kupferne Gefäß *a* ist mit Wasser angefüllt, welches durch fortwährende Bewegung und Erneuerung auf constanter Temperatur erhalten

Fig. 368.



wird; *b* ist ein Ballon von Kupfer, welcher 30^cm Durchmesser hat und innen geschwärzt ist; er ist in das Wasserbad eingesenkt und durch die Träger *c* gehalten. Auf den breiten, wohl abgeschliffenen Rand des Ballons wird eine vollkommen ebene Platte *d* von dickem Glase aufgesetzt, auf welche dann eine weite Glasröhre ganz so aufgesetzt wird, wie eine Glasglocke auf den Teller der Luftpumpe. Diese Röhre ist oben mit einem Hahn *f* versehen und durch die Bleiröhre *g* mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt, von welcher in unserer Figur nur der Teller *h* gezeichnet ist. Das Rohr *k* ist mit Chlorcalcium gefüllt, welches dazu dient, das aus dem Gasometer *l* kommende Gas zu trocknen, wenn man Versuche über das Erkalten in verschiedenen Gasen anstellen will. Die Körper, welche man in diesem Apparate erkalten läßt, sind große Thermometer mit kugelförmigem Gefäße von 3 bis 6 Centimeter Durchmesser. Diese Thermometer sind mittelst eines Korkstopfens in der Glasplatte *d* befestigt und können mit dieser abgehoben und bis auf 100, 200 oder 300° erwärmt werden.

Wenn das Thermometer bis auf die gehörige Temperatur erwärmt ist, wird es rasch in den Ballon gebracht, die Röhre *e* aufgesetzt und die Luft rasch ausgepumpt. Das Thermometer sinkt nun fortwährend, und man beobachtet in mehr oder weniger nahe auf einander folgenden Momenten die Temperaturabnahme, indem man zugleich die einer jeden Temperaturabnahme entsprechende Zeit mit Hülfe einer guten Uhr bestimmt.

Auf diese Weise haben Dulong und Petit viele Versuche ausgeführt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer solchen Versuchsreihe, bei welcher stets dasselbe Thermometer angewandt wurde, während die Temperatur des Wasserbades und der Hülle *b* abgeändert wurde.

Temperaturüberschuß des Thermometers.	Geschwindigkeit des Erkaltens				
	Hülle von 0°.	Hülle von 20°.	Hülle von 40°.	Hülle von 60 °.	Hülle von 80°.
240°	10,69°	12,40°	14,35°	»	»
220	8,81	10,41	11,98	»	»
200	7,40	8,58	10,01	11,64°	13,45°
180	6,10	7,04	8,20	9,55	11,05
160	4,89	5,67	6,61	7,68	8,95
140	3,88	4,57	5,32	6,14	7,19
120	3,02	3,56	4,15	4,84	5,64
100	2,30	2,74	3,16	3,68	4,29
80	1,74	1,99	2,30	2,73	3,19
60	»	1,40	1,62	1,88	2,17

Unter Geschwindigkeit des Erkaltens ist immer die Temperaturerniedrigung zu verstehen, welche das Thermometer während einer Minute erleidet. Wenn z. B. die Hülle eine Temperatur von 0°, das Thermometer aber eine um 240° höhere Temperatur hat, so sinkt es in einer Minute um 10,69°; wenn aber das Thermometer auf 100° erkaltet ist, so nimmt seine Temperatur in einer Minute nur noch um 2,3° ab.

Newton hatte geglaubt, daß der Wärmeverlust eines Körpers in jedem Augenblicke seinem Temperaturüberschusse proportional sey; die oben angeführte Versuchsreihe zeigt aber, daß dies nicht der Fall ist.

Wenn das Thermometer bei einem Temperaturüberschusse von 80° in einer Minute um 1,74° erkaltet, so müßte es nach dem Newton'schen Gesetze bei einem Temperaturüberschusse von 160° in einer Minute um 3,48° und bei 240° in einer Minute um 5,22° erkalten, während nach den Dulong'schen Versuchen bei einem Temperaturüberschusse von 160 und 240° die Erkaltung weit rascher vor sich geht.

Das Newton'sche Gesetz ist nur annähernd richtig, so lange der Temperaturüberschuß nur 40 bis 50° beträgt; die Erkaltungsgeschwindigkeit wächst in einem weit rascheren Verhältnisse als der entsprechende Temperaturüberschuß.

Man sieht auch aus obiger Tabelle, daß bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens noch von der Temperatur der Hülle abhängig ist. Wenn z. B. die Hülle 80° warm ist, so ist bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens fast doppelt so groß als bei einer Hülle von 0°.

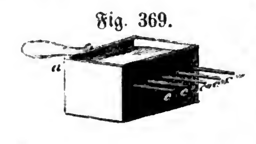
Versuche, welche mit Thermometern angestellt wurden, deren Kugeln verschiedene Durchmesser hatten, ergaben das Resultat, daß sich die Erkaltungsgeschwindigkeit umgekehrt wie der Durchmesser verhält; daß die Erkaltungsgeschwindigkeit von der Natur der Oberfläche abhängt, versteht sich von selbst.

Wenn der erkaltende Körper ringsum von Luft oder irgend einem andern Gas umgeben ist, so verliert er seine Wärme aus zwei Ursachen, nämlich durch Strahlung nach denselben Gesetzen wie im leeren Raume und durch die Berührung mit dem Gas, welches sich durch das Aufwärtsströmen der erwärmten Theilchen stets erneuert.

173 **Verbreitung der Wärme durch Leitung.** Nicht allein durch Strahlung, sondern auch bei unmittelbarer Berührung kann die Wärme von einem Körper zum andern übergehen und sich alsdann durch seine ganze Masse hindurch verbreiten; doch findet in Beziehung auf die Leichtigkeit, mit welcher die Wärme in einen Körper übergeht und sich durch seine Masse verbreitet, eine große Ungleichheit zwischen verschiedenen Körpern Statt; in manchen verbreitet sich die Wärme außerordentlich leicht, während in anderen die Wärme weniger leicht von einem Theilchen zum andern übergeht. Ein Schwefelhölzchen, welches an einem Ende brennt, kann man am andern Ende noch zwischen den Fingern halten, ohne nur eine Temperaturerhöhung des Holzes zu fühlen; die hohe Temperatur des brennenden Endes theilt sich also nicht so leicht der übrigen Masse des Holzes mit, das Holz ist ein schlechter Wärmeleiter; einen gleichlangen Metalldraht aber, den man an dem einen Ende glühend gemacht hat, kann man am andern Ende nicht anfassen, ohne sich zu verbrennen, die Wärme verbreitet sich also leicht von dem glühenden Ende aus durch das ganze Stäbchen, das Metall ist also ein guter Wärmeleiter.

Um zu zeigen, wie ungleich die Fähigkeit verschiedener Körper ist, die Wärme fortzuleiten, kann man den Fig. 369 dargestellten von Ingenhouß angegebenen Apparat anwenden. In die eine Seitenwand eines Kastens von Blech sind mehrere, aus den zu vergleichenden Substanzen verfertigte Stäbchen eingesteckt, welche sämmtlich gleichen Durchmesser haben müssen und sämmtlich mit einer Schicht von Wachs überzogen sind; wenn man nun kochendes Wasser oder heißes

Fig. 369.



Oel in den Kasten gießt, so wird die Wärme auch mehr oder weniger weit in die Stäbchen vordringen und den Wachsüberzug schmelzen. Nehmen wir an, das eine Stäbchen sey von Kupfer, eines von Eisen, ein drittes von Blei, das vierte von Glas, das letzte von Holz, so wird die Wachsschicht des Kupferstäbchens schon vollständig bis an's Ende geschmolzen seyn, während bei allen anderen Stäbchen die Schmelzung des Wachses noch nicht so weit vorgeschritten ist; das Kupfer ist also unter diesen fünf Körpern der beste Wärmeleiter. Für das Eisenstäbchen schreitet die Schmelzung des Wachses rascher voran als für das Bleistäbchen, und während das Wachs auf dem Kupferstabe ganz weggeschmolzen ist, ist die Wachsschicht auf dem Glasstabe nur auf eine sehr unbedeutende Strecke geschmolzen, an dem Holzstäbchen ist aber kaum ein Anfang des Schmelzens wahrzunehmen, das Holz ist also in der That unter diesen Körpern der schlechteste Wärmeleiter.

Unter allen Körpern sind die Metalle die besten, Asche, Seide, Haare, Stroh, Wolle u. s. w., überhaupt die lockeren Körper, die schlechtesten Wärmeleiter.

Im praktischen Leben machen wir von der guten oder schlechten Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper zahlreiche Anwendungen. Gegenstände, die man vor der Erkaltung schützen will, umgiebt man mit schlechten Wärmeleitern; man umwickelt Bäume und Sträuche des Winters mit Stroh, um sie vor dem Erfrieren zu schützen; unsere Kleider halten warm, weil sie aus schlechten Wärmeleitern verfertigt sind. In einem kupfernen Gefäße bringt man unter sonst gleichen Umständen eine Flüssigkeit weit eher in's Kochen als in einem Porzellangefäße von derselben Wanddicke.

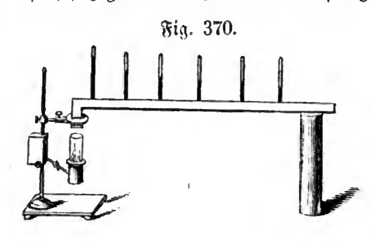
Wenn das eine Ende eines Metallstabes mit einer constanten Wärmequelle in Berührung gebracht wird, so erwärmt sich der ganze Stab allmälig mehr und mehr, doch wird seine Temperatur am andern Ende nie so hoch steigen können, als an der unmittelbar erwärmten Stelle. Wenn der Stab über eine gewisse Zeit hinaus mit der Wärmequelle in Berührung bleibt, so steigt seine Temperatur an keiner Stelle weiter, sondern es tritt ein Gleichgewichtszustand ein, bei welchem die Temperatur des Stabes mit der Entfernung von der Quelle immer geringer wird.

Denken wir uns den Stab seiner ganzen Länge nach durch Querschnitte in ganz dünne Scheibchen zerlegt, so wird ein Gleichgewicht der Erwärmung stattfinden, wenn jedes Scheibchen in jedem Augenblicke eben so viel Wärme von der Wärmequelle her aufnimmt, als es wieder abgiebt. Nun aber giebt jedes Scheibchen nicht nur Wärme an das nächstfolgende ab, sondern es verliert auch seitwärts Wärme an die Umgebung, jede folgende Schicht des Metallstabs empfängt also offenbar weniger Wärme als

die vorhergehende, und somit ist klar, daß die Erwärmung des Stabes an verschiedenen Stellen um so geringer seyn wird, je weiter sie von der Wärmequelle entfernt sind.

Diese Abnahme der Temperatur mit der Entfernung von der Wärmequelle übersieht man sehr gut in folgendem von Despretz angestellten Versuche, Fig. 370. In einer vierseitigen Metallstange, an welcher jede Seite des Querschnitts 21 Millimeter betrug, waren von Decimeter zu Decimeter Löcher von 6mm Durchmesser und 14mm Tiefe angebracht. Diese Löcher waren mit Quecksilber ausgefüllt, und in dieses waren die zur Beobachtung der Temperatur dienenden Thermometer eingesenkt. Das eine Ende des horizontal liegenden Metallstabes wurde durch eine Weingeistlampe erwärmt. Es dauerte in der Regel zwei bis drei Stunden, bis die Temperatur des Stabes ihren Gleichgewichtszustand erreicht hatte. Ein Stab von Kupfer gab folgende Resultate:

Fig. 370.



Entfernung der Thermometer von der Wärmequelle.	Erhöhung der Temperatur der Thermometer über die Temperatur der umgebenden Luft.
100mm	66,4°
200	46,3
300	32,6
400	24,5
500	18,6
600	16,2.

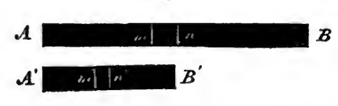
Man sieht hieraus, daß der Temperaturüberschuß jedes folgenden Thermometers 1,4 mal geringer ist als für das vorhergehende; wenn also die Entfernungen von der Wärmequelle in arithmetischer Reihe wachsen, so nehmen die entsprechenden Temperaturerhöhungen in geometrischer Reihe ab. Diese Regelmäßigkeit der Temperaturabnahme findet jedoch bei schlechteren Wärmeleitern nicht mehr Statt.

Nehmen wir an, es gäbe ein anderes Metall, welches die Wärme in einem solchen Verhältnisse schlechter leitet als das Kupfer, daß, wenn man mit einem Stabe von denselben Dimensionen denselben Versuch anstellt, alle Thermometer einen nur halb so großen Temperaturüberschuß zeigten, so würde offenbar der Temperaturüberschuß eines jeden Quer-

schnittes des schlechter leitenden Stabes gerade eben so groß seyn als der Temperaturüberschuß eines doppelt so weit von der Wärmequelle entfernten Querschnittes im Kupferstabe; und wenn man aus dem schlechter leitenden Metalle einen Stab machte, welcher bei sonst gleichen Dimensionen nur halb so lang ist als der Kupferstab, so würden die Enden beider Stäbe gleiche Temperatur zeigen.

In Fig. 371 möge AB den Kupferstab, $A'B'$ den schlechter leitenden Metallstab von halber Länge darstellen; wenn die Enden A und A' mit einer und derselben Wärmequelle in Berührung sind, so werden nach unserer Voraussetzung die Enden B und B' auch gleiche Temperatur haben, wenn die Temperatur an allen Stellen der beiden Stäbe stationär geworden ist.

Fig. 371.



Nehmen wir an, der Querschnitt n' liege halb so weit von B' als n von B, so werden auch die Temperaturen der Querschnitte n und n' gleich seyn; weil aber nB noch einmal so groß ist als $n'B'$, so wird das Ende nB des Kupferstabes in gleicher Zeit doppelt so viel Wärme an die Umgebung ausstrahlen als das Endstück $n'B'$ des andern Stabes; in gleichen Zeiten muß also dem Ende nB des Kupferstabes doppelt so viel Wärme zugeführt werden als dem Ende $n'B'$ des andern Stabes. Wenn ferner die Länge mn doppelt so groß ist als $m'n'$, so werden auch die Schichten m im einen und m' im andern Stabe gleiche Temperatur haben; und wenn in gleichen Zeiten durch das Stück mn des Kupferstabes dieselbe Wärmemenge hindurchginge wie durch das Stück $m'n'$ des andern Stabes, so würde das Wärmeleitungsvermögen des Kupfers offenbar doppelt so groß seyn als das des andern Metalls. Nun geht aber durch das Stück mn des Kupferstabes in derselben Zeit doppelt so viel Wärme hindurch als durch das Stück $m'n'$ des andern Stabes, weil ja das Ende nB des Kupferstabes in gleichen Zeiten doppelt so viel Wärme ausstrahlt als das Ende $n'B'$; folglich würde für unsern Fall die Wärmeleitungsfähigkeit des Kupfers 4mal so groß seyn als die des andern Metalles.

Wenn wir diese Betrachtungsweise allgemeiner machen, so kommen wir zu dem Schlusse, daß für Stäbe verschiedener Metalle von gleichen Dimensionen die Wärmeleitungsfähigkeit sich verhält wie das Quadrat der Entfernungen von der Wärmequelle, in welchen man unter sonst gleichen Umständen gleiche Temperaturüberschüsse beobachtet.

Auf diese Weise hat Despretz folgende Verhältnißzahlen für das Wärmeleitungsvermögen der Metalle gefunden:

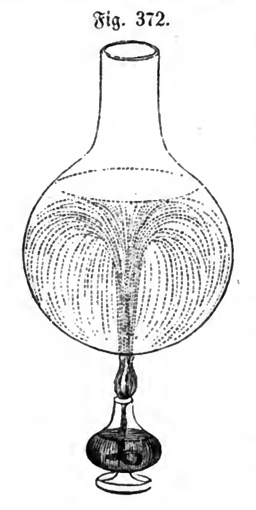
Gold	1000	Eisen	374
Platin . . .	981	Zink	363
Silber . . .	973	Zinn	303
Kupfer . . .	898	Blei	180.

Man nimmt gewöhnlich für die Leitungsfähigkeit des Marmors den Werth 23, für Porzellan den Werth 12 u. s. w., doch ist die Richtigkeit dieser Werthe sehr zweifelhaft, denn die oben angeführte Bestimmungsmethode läßt sich hier nicht mehr mit Zuversicht anwenden, weil bei diesen sehr schlechten Wärmeleitern der Temperaturüberschuß nicht nach dem Gesetze abnimmt, wie dies bei guten Wärmeleitern der Fall ist.

Wenn die eben angedeutete Bestimmungsmethode anwendbar seyn soll, so muß das Ausstrahlungsvermögen der Oberflächen stets dasselbe seyn; man überzieht deshalb die zum Versuche bestimmten Metallstäbe mit Kienruß.

174 **Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase.** In den Flüssigkeiten verbreitet sich die Wärme meistens durch Strömungen, welche dadurch entstehen, daß die erwärmten Theilchen wegen ihrer geringeren Dichtigkeit immer in die Höhe steigen. Man kann diese Strömungen leicht sichtbar machen, wenn man Sägespähne in Wasser wirft, welches sich in einem Glasgefäße befindet, und dann von unten her langsam erwärmt, Fig. 372. Man sieht, wie die Strömung in der Mitte aufwärts, an der Seite abwärts gerichtet ist.

Fig. 372.



Wenn man eine Flüssigkeit von oben her erwärmt, so daß das hydrostatische Gleichgewicht nicht gestört wird, so kann sich die Wärme nur in derselben Weise durch die Masse der Flüssigkeit verbreiten, wie dies bei festen Körpern der Fall ist, nämlich durch Leitung, indem die Wärme von einer Schicht zur andern übergeht. In solchen Fällen verbreitet sich die Wärme aber nur sehr langsam durch die Masse der Flüssigkeit, die Flüssigkeiten sind also sehr schlechte Wärmeleiter.

Um sich von der schlechten Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten zu überzeugen, braucht man nur die Kugel eines Thermometers in kaltes Wasser zu tauchen und dann heißes Oel auf das Wasser zu gießen; man wird selbst in den obersten Wasserschichten kaum eine Temperaturerhöhung wahrnehmen können.

Despretz hat die Leitungsfähigkeit des Wassers bestimmt, indem er

Wassersäulen von 1 Meter Höhe und 0,2 bis 0,4 Meter Durchmesser von oben her durch beständige Erneuerung von heißem Wasser erwärmte. Es dauerte ungefähr 30 Stunden, bis die Temperatur der Wassersäule an allen Stellen stabil wurde. Aus diesen Versuchen folgt, daß die Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers ungefähr 95mal geringer ist als die des Kupfers; in der obigen Tabelle müßte also die Leitungsfähigkeit des Wassers durch 9 bis 10 ausgedrückt werden.

Die Luft und die Gase überhaupt sind ebenfalls sehr schlechte Wärmeleiter, doch läßt sich ihr Wärmeleitungsvermögen durch Thermometer, die man etwa in verschiedenen Schichten der zu untersuchenden Luftmasse anbringen wollte, wegen der Wärmestrahlung nicht ermitteln. Daß jedoch die Gase überhaupt, und die Luft insbesondere schlechte Wärmeleiter sind, geht daraus hervor, daß Körper, welche von allen Seiten von Luftschichten umgeben sind, nur sehr langsam erwärmt und erkaltet werden können, wenn nur der Wechsel der Luftschichten verhindert wird. Dadurch erklärt sich die Wirksamkeit der doppelten Fenster und der doppelten Thüren, um ein Zimmer warm zu halten. Das schlechte Leitungsvermögen lockerer Körper, wie Stroh, Wolle u. s. w., rührt größtentheils daher, daß die zahllosen Zwischenräume mit Luft ausgefüllt sind. Solche Körper, von denen wir sagen, daß sie warm halten, wie z. B. unsere Kleider, Stroh, sind nicht selbst warm, ihre Wirkung beruht nur auf ihrer schlechten Wärmeleitungsfähigkeit; wenn man Eis in solche Körper einhüllt, so verhindern sie das Schmelzen desselben, weil sie die äußere Wärme abhalten.

Siebentes Kapitel.

Verschiedene Quellen der Wärme.

175 **Wärmeerzeugung durch chemische Verbindungen.** Nach der Sonne sind für uns die chemischen Verbindungen, besonders aber die Verbrennung die wichtigsten Wärmequellen. Fast jeder chemische Proceß ist von einer Wärmeentwickelung begleitet; Heß hat versucht, die Gesetze dieser Wärmeentwickelung zu ermitteln.

Bekanntlich wird Wärme frei, wenn man Schwefelsäurehydrat (englische Schwefelsäure $\dot{H}\ddot{S}$) mit Wasser mischt. Wenn man das Schwefelsäurehydrat mit 1 Aeq. Wasser mischt, dann ein zweites Aequivalent Wasser zusetzt u. s. w., bis keine merkliche Wärmeentwicklung mehr stattfindet, so ist die Summe der nach und nach frei werdenden Wärmemengen gerade eben so groß wie die Wärmemenge, welche frei wird, wenn

man dieselbe Wassermasse nicht nach und nach, sondern auf einmal zusetzt. Daraus schließt Heß, »daß, wenn eine Verbindung stattfindet, die entwickelte Wärmemenge constant sey, mag nun die Verbindung direct oder indirect und zu wiederholten Malen geschehen.« Dieser Satz wurde auch noch durch andere Versuche bestätigt.

Heß sowohl als auch Graham und Andrews haben noch viele Versuche angestellt über die Wärmeentwickelung bei chemischen Verbindungen, welche auf nassem Wege vor sich gehen. Graham hat vorzugsweise die bei der Hydratbildung aus wasserfreien Salzen, Andrews aber die bei der Salzlösung frei werdende Wärme untersucht. Letzterer ist zu folgenden Resultaten gelangt:

1) Ein Aequivalent verschiedener Säuren erzeugt bei seiner Verbindung mit derselben Basis fast ganz gleiche Wärmemengen.

2) Ein Aequivalent verschiedener Basen bringt bei seiner Verbindung mit derselben Säure nicht immer dieselbe Wärme hervor.

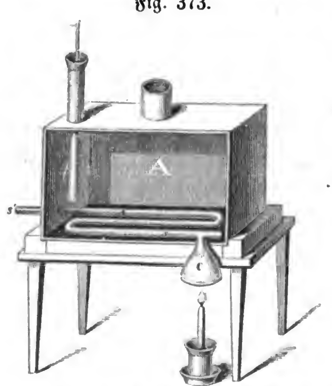
3) Wenn neutrale Salze sich mit Säuren zu sauren Salzen verbinden, so findet keine Temperaturveränderung Statt.

4) Wenn neutrale Salze durch Aufnahme von einer neuen Quantität Basis sich in basische Salze verwandeln, so findet eine Wärmeentwickelung Statt.

Sobald die chemische Verbindung mit einer Auflösung eines Körpers begleitet ist, wird es schwer halten, aus dem Versuche bestimmte Resultate abzuleiten, weil man nicht leicht ermitteln kann, welchen Einfluß die Veränderung des Aggregatzustandes hat.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist die Entwickelung der Wärme, welche durch Verbrennung, also durch eine rasche Verbindung der Körper mit Sauerstoff entwickelt wird.

Fig. 373.



Um die durch Verbrennung entwickelte Wärme zu bestimmen, bedient sich Rumford eines Calorimeters, Fig. 373, welches zur Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe dient. Im Rumford'schen Calorimeter ist das Schlangenrohr horizontal, damit die Producte der Verbrennung nicht zu schnell entweichen. Der Eingang in das Schlangenrohr ist durch einen Trichter gebildet, unter welchen die zu verbrennenden Körper gebracht werden. Mit Oel und Alkohol ist der

Versuch leicht anzustellen, man füllt sie nämlich in eine kleine Lampe, die man zu Anfange und zu Ende des Versuches wägt, um die Menge des verbrannten Materials zu erfahren. Die Flamme und die Producte der Verbrennung ziehen durch das Schlangenrohr hindurch und erwärmen das Wasser des Apparates. Aus der Temperaturerhöhung, welche das Wasser mit dem ganzen Apparate erfährt, läßt sich dann die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung erzeugt wurde, berechnen; doch darf man dabei die Wärme nicht unberücksichtigt lassen, mit welcher die gasförmigen Producte der Verbrennung aus dem Schlangenrohre austreten.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate, welche Rumford nach dieser Methode erhalten hat, nebst anderen, welche Lavoisier und Laplace mit ihrem Calorimeter und Despretz durch ein dem Rumford'schen ähnliches Verfahren erhielt.

Namen der verbrannten Körper.	Temperaturerhöhung, welche die Verbrennung von 1 Gramm der Substanz in 1 Kilogramm Wasser hervorbringt.
Wasserstoffgas	23,4° L. L. und D.
Olivenöl	11,17 L. L.
»	9,04 R.
Weißes Wachs	10,50 L. L.
»	9,48 R.
Rüböl	9,31 R.
Talg	8,37 R.
»	7,19 L. L.
Schwefeläther	8,03 R.
Phosphor	7,50 L. L.
Kohle	7,23 L. L. und D.
Alkohol 42° Baumé	6,19 R.
Holz, sehr trocken	4,31 R.

Dulong hatte eine große Arbeit über die durch Verbrennung entwickelte Wärme unternommen, wurde aber leider zu früh der Wissenschaft entrissen, noch ehe er sie beendigt hatte. Glücklicherweise konnte man noch die wichtigsten Resultate sammeln, zu denen er gelangt war.

Der Apparat, dessen er sich zu diesen Untersuchungen bediente, hatte im Wesentlichen folgende Einrichtung. Der Verbrennungsraum *a*, Fig. 374, ist eine von dünnem Kupferblech gebildete 25 Centimeter hohe rechteckige Kammer, welche 10 Centimeter lang und 7,5 Centimeter breit und ringsum von Wasser umgeben war, welches sich in einem 11 Litre fassenden Gefäße befand.

Durch den Boden des Verbrennungsraumes ragte in denselben eine mit feiner Spitze versehene Röhre *b*, durch welche die zu verbrennenden Gase zuströmten.

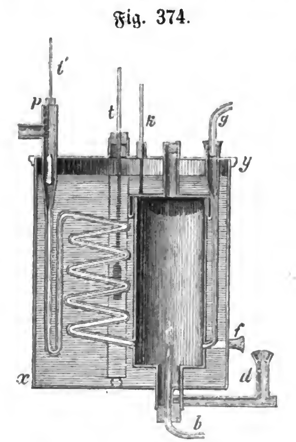


Fig. 374.

Das zur Verbrennung nöthige Sauerstoffgas strömte entweder durch die Röhre *g* oder durch *d* zu.

Flüssige Brennstoffe waren in einer durch einen Stopfen verschlossenen Glasröhre enthalten; ein feiner Docht war in die Flüssigkeit eingetaucht.

Wie die Gase und Flüssigkeiten entzündet wurden, weiß man nicht.

Die festen Brennstoffe wurden auf verschiedene Weise zur Verbrennung gebracht. Eisen wurde zu einer Spirale aufgewickelt; andere Metalle wurden in pulverförmigem Zustande in eine Kapsel von Kupfer oder Platin gebracht; um das Zusammenbacken zu verhindern, wurden sie mit einem hier indifferenten Stoffe gemischt. Ihre Entzündung wurde durch ein Stück Zunder bewirkt.

Da die Kohle sich nicht auf diese Weise entzündet, so wurde aus derselben ein Kegel geschnitten, dessen Spitze an einer Weingeistlampe angezündet und dann rasch in den Verbrennungsraum gebracht.

Ein Fenster *f*, welches durch eine Glasplatte verschlossen ist, erlaubt zu sehen, was während des Versuches im Apparate vorgeht.

Die durch die Verbrennung gebildeten Gase entweichen durch ein Schlangenrohr, an dessen Ende sich eine Erweiterung zur Aufnahme eines Thermometers *t'* befindet. Die Gase entweichen, nachdem sie ihre Wärme abgegeben haben, durch das Seitenrohr *p* in ein Gasometer.

Zwei symmetrisch vertheilte Thermometer geben die Temperatur des Apparates an.

Das Wasser wurde durch einen an der Stange *k* befestigten Rührer stets in Bewegung gehalten.

Dulong scheint bei seinen Versuchen die Methode Rumford's befolgt zu haben.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate seiner Versuche.

Namen der verbrannten Körper.	Temperaturerhöhung, welche in 1 Kilogr. Wasser hervorgebracht wird durch	
	die Verbrennung von 1 Gr. der Substanz.	durch 1 Gr. bei der Verbrennung verzehrten Sauerstoff.
Wasserstoff	34,60	4,32
Sumpfgas	13,35	3,34
Kohlenoxydgas	2,49	4,36
Oelbildendes Gas	12,20	3,56
Absoluter Alkohol	6,96	3,34
Kohle	7,29	2,73
Terpentinöl	11,57	3,51
Schwefeläther	10,04	3,88
Olivenöl	9,86	»
Schwefel	2,60	2,60
Eisen	»	4,33
Zinn	»	4,53
Zinnoxydul	»	4,51
Kupfer	»	2,59
Kupferoxydul	»	2,18
Antimon	»	3,82
Zink	»	5,27
Kobalt	»	3,98
Nickel	»	3,71

Thierische Wärme. Die Temperatur der Blutwärme aller Thiere ist fast immer von der Temperatur des Mittels verschieden, in welchem sie leben. Die Thiere der Polarländer sind stets wärmer als das Eis, auf welchem sie leben, in den Aequatorialgegenden aber sind sie kälter als die glühende Luft, welche sie einathmen. Die Vögel haben nie die Temperatur der Luft, die Fische nie die Temperatur des Wassers, von welchem sie umgeben sind; der thierische Körper hat also seine eigenthümliche Wärme, er muß sie also auch fortwährend erzeugen können. Wir wollen nun der Reihe nach folgende Fragen näher untersuchen: 1) Welches ist die Temperatur des Thierkörpers? 2) Welches sind die Wärmequantitäten, welche er in einer gegebenen Zeit erzeugen kann? 3) Wodurch wird diese Wärme erzeugt? 176

Die innere Wärme des Menschen scheint für alle Organe dieselbe, und zwar derjenigen gleich zu seyn, auf welche ein kleines Thermometer steigt, wenn man die Kugel unter die Zunge bringt und den Mund schließt, bis es nicht mehr steigt; diese Temperatur ist 37°. Alter und Klima, Gesundheit oder Krankheit können diese Temperatur nur unbedeutend ändern. John Davy hat auf seiner Reise von England nach der Insel Ceylon

in dieser Beziehung eine Reihe merkwürdiger Beobachtungen gemacht. Indem er unter verschiedenen Breiten die Temperatur mehrerer Leute der Schiffsmannschaft bestimmte, fand er, daß sie in der heißen Zone allerdings etwas stieg; diese Temperaturzunahme war aber unbedeutend, sie betrug nicht ganz 1°. Davy bestimmte auch die Temperatur der Eingeborenen von Ceylon, der Hottentotten, der Neger auf Madagascar und Mozambique, der Albinos, der Malaien, der Budhapriester, welche nur Gemüse, und der Vaidas, welche nur Fleisch essen. Alle diese Temperaturen waren nur wenig verschieden, die niedrigste von allen war die von zwei Hottentotten auf dem Cap der guten Hoffnung, sie betrug 35,8°, die höchste war die von zwei europäischen zu Colombo geborenen Kindern, von denen das eine 8, das andere 12 Jahre alt war, sie betrug 38,9°.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der von Davy an Thieren angestellten Beobachtungen.

Namen der Thiere	Ihre Temperatur	Temperatur der Umgebung	Beobachtungsort
	Säugethiere:		
Affe	+ 39,7° C.	30° C.	Colombo
Fledermaus	37,8	28	»
»	38,3	28	»
Vampir	37,8	21	»
Eichhörnchen	38,8	27	»
Gemeine Ratte	38,8	26,5	»
Gemeiner Haase . . .	37,8	26,5	»
Ichneumon	39,4	27	»
Tiger	37,2	26,5	»
Hund	39,0	»	Candy
»	39,6	»	»
Schakal	38,3	29	Colombo
Gemeine Katze	38,3	15	London
»	38,9	26	Candy
Panther	38,9	27	Colombo
Pferd (arabische Race) .	37,5	26	Candy
Hammel	39,3—40,0	Im Sommer	Schottland
»	39,5—40,0	19	Cap der guten Hoffnung
»	40,0—40,6	26	Colombo
Bock	39,5	26	»
Ziege	40,0	26	»
Ochse	38,9	Im Sommer	Edinburg
»	38,9	26	Candy
Elephant	37,5	26,7	Colombo
Meerschwein	37,8	23,7	Im Meere 8° 23′ N. B.

Namen der Thiere	Ihre Temperatur	Temperatur der Umgebung	Beobachtungsort
Vögel:			
Habicht	37,2	25,3	Colombo
Papagay	41,1	24	Candy
Krähe	42,1	31,5	Ceylon
Drossel.	42,8	15,5	London
Sperling	42,1	26,6	Candy
Taube	42,1	15,5	London
»	43,3	25,5	»
Gemeines Huhn . . .	42,5	4,5	Edinburg
» . . .	43,3	25,5	Colombo
Hahn	43,9	25,5	»
Sturmvogel	40,3	26	Auf dem Meere 2° 3′ N. B.
Gans	41,7	25,5	Colombo
Kanarienvogel	43,9	25,5	»
Amphibien:			
Schildkröte	28,9	26	Im Meere 2° 27′ N. B.
Geometrische Schildkröte .	16,9	16	Cap der guten Hoffnung
Schlange	32,2	28,3	Colombo
»	29,2	28,1	»
Fische:			
Hayfisch	25	23,7	Im Meere 8° 23′ N. B.
Forelle	14,4	13,3	Edinburg
Fliegender Fisch. . . .	25,5	25,3	Im Meere 6° 57′ N. B.
Mollusken und Crustaceen:			
Auster	27,8	27,8	Colombo
Krebs	26,1	26,7	»
Krabbe	22,2	22,2	Candy
Insecten:			
Blatta orientalis . . .	23,3	22,8	»
Wespe.	24,4	23,9	»
Scorpion	25,3	26,1	»
Julus	25,8	26,6	»

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, daß die Blutwärme der Vögel größer ist als bei allen anderen Thieren; die Säugethiere nehmen den zweiten Rang ein. Bei diesen beiden Thierklassen ist die Blutwärme von der Temperatur der Umgebung unabhängig, bei den übrigen Thierklassen

aber, den Amphibien, Fischen u. s. w., ist die Temperatur des Körpers nur wenig von der Temperatur der Umgebung verschieden.

Welches ist nun die Quelle der thierischen Wärme? Die Luft, welche wir einathmen, wird in derselben Weise verändert wie die Luft, welche zur Verbrennung gedient hat; der Sauerstoff der Luft wird in Kohlensäure verwandelt, es findet also in der Lunge eine förmliche Verbrennung Statt. Seit Lavoisier diese Entdeckung gemacht hatte, war die Quelle der thierischen Wärme kein Geheimniß mehr!

Durch die Speisen wird dem Körper der Kohlenstoff zugeführt, welcher sich in der Lunge mit dem Sauerstoffe der eingeathmeten Luft verbindet; durch die Oxydation des Kohlenstoffs im Thierkörper muß aber nothwendig dieselbe Wärmemenge erzeugt werden, als ob der Kohlenstoff durch schnelle Verbrennung in Kohlensäure verwandelt worden wäre.

In einer kalten Umgebung verliert der Mensch und das Thier stets mehr Wärme als in wärmerer; da aber die Blutwärme bei den Säugethieren und Vögeln von der Temperatur der Luft unabhängig ist, so ist klar, daß im Körper mehr Wärme erzeugt werden muß, wenn ihm in jedem Augenblicke eine größere Wärmemenge entzogen wird, wenn er also in kalter Luft lebt, als wenn er in wärmerer Umgebung nur wenig Wärme nach außen hin abgiebt. Um aber in gleichen Zeiten mehr Wärme erzeugen zu können, muß dem Körper mehr Kohlenstoff zugeführt werden, durch dessen Oxydation die Wärme erzeugt wird, wie man ja auch bei kaltem Wetter mehr Brennmaterial im Ofen verbrennen muß, um ein Zimmer auf einer bestimmten constanten Temperatur zu erhalten, als bei gelinder Kälte. Dadurch erklärt sich nun, warum der Nordländer mehr Speisen und besonders mehr kohlenstoffhaltige Speisen zu sich nehmen muß als der Bewohner der heißen Zone.

Die Wärmemenge, welche ein Thier in einer gegebenen Zeit entwickelt, hat Dulong auf folgende Weise zu bestimmen gesucht: Das Thier wurde in einen Kasten von dünnem Kupferblech gebracht, welcher in eine große Masse Wasser eingetaucht war. Die durch das Thier erzeugte Wärme wurde durch die Temperaturerhöhung des Wassers bestimmt, die zum Athmen nöthige Luft wurde durch ein Gasometer geliefert, und die Producte der Respiration wurden gesammelt und analysirt. Ein solcher Versuch dauerte ungefähr zwei Stunden; es zeigte sich, daß die ausgeathmete Luft feuchter war, daß ein Theil des Sauerstoffs durch Kohlensäure ersetzt und daß außerdem noch ein Theil Sauerstoff verschwunden war. Der Stickstoffgehalt der Luft hatte keine Veränderung erlitten. Nimmt man nun an, daß der Sauerstoff, welcher in Kohlensäure verwandelt worden ist, sich wirklich beim Respirationsprocesse mit Kohlenstoff verbunden hat; nimmt man ferner an, daß der verschwundene Sauerstoff sich mit Wasser-

stoff zu Wasser verbunden hat, so kann man leicht die Wärmemenge berechnen, welche auf diesem Wege entwickelt wird; dieser Rechnung zufolge wird aber durch die Respiration nur 8 bis 9 Zehntel der Wärme erzeugt, welche das Thier an das Wasser abgegeben hat; es scheint demnach die Respiration nicht die einzige Quelle der thierischen Wärme zu seyn.

Liebig hat aber gezeigt, daß der angeführte Versuch zu diesem Schlusse nicht berechtigt; bei der großen Differenz zwischen der Temperatur des Wassers und des Thieres ist der Wärmeverlust freilich größer, als man dem verbrauchten Sauerstoffe nach erwarten sollte; man muß aber auch bedenken, daß bei sehr kalter Umgebung die freie Bewegung des Thieres gehindert war, daß es durch vermehrte Bewegung das Athmen nicht gehörig beschleunigen konnte, daß es sich also in einem unnatürlichen Zustande befand, in welchem es nothwendig frieren mußte, und den es auf die Dauer unmöglich hätte ertragen können.

Wärmeentwicklung durch mechanische Mittel. Daß durch die Compression der Luft Wärme frei wird, ist schon oben angeführt worden; durch rasche Compression der Luft kann eine sehr bedeutende Temperaturerhöhung bewirkt werden, und darauf gründet sich das pneumatische Feuerzeug. Die Flüssigkeiten, welche sich nur wenig comprimiren lassen, zeigen auch nur eine unbedeutende Temperaturerhöhung. Feste Körper werden durch Compression oft bedeutend erhitzt, wie man dies beim Hämmern der Metalle und beim Prägen der Münzen beobachten kann. Ob die Temperaturerhöhung fester Körper durch Compression gleichfalls dem Umstande zugeschrieben werden muß, daß mit der größern Dichtigkeit ihre specifische Wärme geringer wird, daß also ein Theil der Wärme, welche als specifische Wärme in derselben enthalten war, nun bei ihrer Compression als fühlbare Wärme austritt, ist noch nicht mit Sicherheit entschieden. 177

Welche bedeutenden Temperaturerhöhungen durch Reibung hervorgebracht werden können, ist allgemein bekannt. Ein eiserner Radschuh erhitzt sich oft so, daß er zischt, wenn er mit Wasser in Berührung kommt; trocknes Holz läßt sich durch Reibung entzünden, ja an einem laufenden Schleifsteine von $7\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser soll ein eiserner Nagel weißglühend werden. Bis jetzt ist man noch nicht im Stande, eine genügende Erklärung dieser Erscheinungen zu geben.

Theoretische Ansichten über die Wärme. Wir haben nun die wichtigsten Gesetze der Wärmeerscheinungen kennen gelernt, ohne daß die Rede davon gewesen wäre, was denn eigentlich die Wärme sey. In dieser Beziehung ist also die Wärmelehre ganz so behandelt worden, wie der erste Theil der Lehre vom Lichte, wo auch die empirischen Gesetze der Spiegelung und Brechung entwickelt wurden, ohne weiter nach dem Wesen des Lichtes zu fragen; eine Theorie aber, aus welcher sich alle Wärmeer- 178

scheinungen nicht nur der Art, sondern auch der Größe nach so vollständig ableiten lassen, wie die Lichtphänomene aus der Wellentheorie, fehlt bis jetzt noch.

Gewöhnlich stellt man sich die Wärme als einen imponderablen Stoff dar, welcher die Körper durchdringt; diese Vorstellung paßt sich mancher Erscheinung, wie z. B. der Wärmebindung, der Wärmecapacität ganz gut an, sie giebt uns für diese Erscheinungen ein ganz gutes Bild, ja die Ausdrücke sind auch mit Zugrundelegung dieser Ansicht geschaffen. Wenn sich aber auch die Erscheinungen der Wärmecapacität, der latenten Wärme, die Wärmeleitung ganz gut mit der Vorstellung des Wärmestoffs vertragen, so ist es doch auf der andern Seite höchst unwahrscheinlich, daß es immer solche gebe, wie denn wohl überhaupt imponderable Stoffe aus der Physik verschwinden werden, wie es beim Lichte schon der Fall ist. In der Wärmelehre steht der große Schritt, welcher der Einführung der Vibrationstheorie beim Lichte entspricht, wohl am nächsten bevor.

Einige Erscheinungen sind mit der Annahme des Wärmestoffs gar nicht zu vereinigen: die Wärmestrahlung und Erzeugung der Wärme durch Reibung.

Die Gesetze der strahlenden Wärme sind denen der Lichtstrahlung so ähnlich, daß die Idee nahe liegt, auch der Wärmestrahlung eine Aethervibration zuzuschreiben. Wenn aber die strahlende Wärme durch Vibrationen des Aethers sich fortpflanzt, so müßte die fühlbare Wärme durch Vibrationen der materiellen Theile der Körper selbst hervorgebracht werden.

Daß die Wärmeerscheinungen in der That von solchen Vibrationen herrühren, ist höchst wahrscheinlich, obgleich wir noch nicht im Stande sind, alle Erscheinungen der Wärme aus dieser Hypothese nur einigermaßen genügend abzuleiten und wir die Vorstellung eines Wärmestoffs zur leichteren Darstellung und Uebersicht noch nicht wohl entbehren können.

Um die Wärmeerscheinungen durch Vibrationen zu erklären, müßte man wohl annehmen, daß die Temperatur der Körper mit der Oscillationsamplitude wächst; dadurch würde sich dann auch die Ausdehnung durch die Wärme erklären.

Beim Uebergange aus dem festen Zustande in den flüssigen und von diesem in den gasförmigen wird die Anzahl der Vibrationen vermehrt. Bei gleicher Bewegungsgröße ist eine Vergrößerung der Schwingungszahl nur möglich, wenn die Amplitude kleiner wird, und so erklärt sich die Wärmebindung.

Achter Abschnitt.

Meteorologie.

Erstes Kapitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Die Erwärmung der Erdoberfläche und der Atmosphäre, durch welche 179 allein das Gedeihen der Pflanzen- und Thierwelt möglich ist, haben wir nur den Strahlen der Sonne zu danken, welche somit als die Quelle alles Lebens auf unserm Planeten betrachtet werden muß. — Wo die Mittagssonne vertikal über den Köpfen der Bewohner steht, wo ihre Strahlen unter rechtem Winkel die Erdoberfläche treffen, da entwickelt sich eine üppige Vegetation, wenn eine zweite Bedingung ihrer Existenz, nämlich die Feuchtigkeit, nicht fehlt; wo aber die Sonnenstrahlen stets allzu schräg auffallen, um eine merkliche Wirkung hervorzubringen, da starrt die Natur von ewigem Eise, da hört alles Thier- und Pflanzenleben auf.

Um die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche im Allgemeinen zu übersehen, müssen wir zunächst die Folgen der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde untersuchen.

In Folge der jährlichen Bewegung der Erde verändert die Sonne fortwährend ihre scheinbare Stellung am Himmelsgewölbe; der Weg, welchen sie am Himmelsgewölbe während eines Jahres durchläuft, geht durch 12 Sternbilder hindurch, welche den Thierkreis bilden.

Denken wir uns das Himmelsgewölbe als eine große Halbkugel, so bildet die Sonnenbahn auf dieser Halbkugel einen großen Kreis, welcher bekanntlich den Namen Ekliptik führt. Diese Ekliptik fällt nicht mit dem Himmelsäquator zusammen, sie schneidet ihn unter einem Winkel von 23° 28′.

Zweimal im Jahre, am 21. März und am 21. September, passirt die Sonne den Himmelsäquator. Vom März bis zum September befindet sie sich auf der nördlichen, vom September bis zum März auf der südlichen

Halbkugel; am 21. Juni erreicht sie ihren nördlichen, am 21. December ihren südlichen Wendepunkt, sie steht am 21. Juni 23° 28′ nördlich, am 21. December 23° 28′ südlich vom Himmelsäquator.

Die Richtung unserer Erdaxe fällt nun mit der Himmelsaxe, die Ebene des Erdäquators mit der des Himmelsäquators zusammen; wenn also die Sonne gerade auf dem Himmelsäquator steht, so treffen ihre Strahlen an jedem Orte des Erdäquators zur Mittagszeit rechtwinklig die Erdoberfläche, während sie die beiden Erdpole nur streifen und die den Polen näher liegenden Gegenden nur sehr schräg treffen.

Denken wir uns parallel mit dem Aequator 23° 28′ nördlich und eben so weit südlich von demselben einen Parallelkreis auf der Erdoberfläche gezogen, so ist ersterer der Wendekreis des Krebses, letzterer der Wendekreis des Steinbocks. Alle Orte, welche auf diesen Wendekreisen liegen, werden einmal im Jahre rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen, und zwar ist dies für den Wendekreis des Krebses am 21. Juni, für den Wendekreis des Steinbocks am 21. December der Fall.

Der ganze Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt, wird die heiße Zone genannt, weil hier die immer nur wenig schräg auffallenden Sonnenstrahlen die kräftigste Wirkung hervorbringen können.

Auf dem Aequator ist die Wärme das ganze Jahr hindurch ziemlich gleichförmig vertheilt, weil ja zweimal im Jahre die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf den Boden treffen und weil sie in den Zwischenzeiten auch nicht sehr schräg einfallen.

Je mehr man sich den Wendekreisen nähert, desto merklicher werden die Unterschiede der Temperatur in verschiedenen Zeiten des Jahres, desto deutlicher spricht sich der Charakter der Jahreszeiten aus. Auf den Wendekreisen fallen die Sonnenstrahlen nur einmal des Jahres rechtwinklig auf die Erdoberfläche und einmal machen sie einen Winkel von 47° mit der Richtung des Bleiloths, sie fallen also schon bedeutend schräg auf; die Temperatur der heißesten und kältesten Jahreszeit, welche ein halbes Jahr auseinander liegen, sind schon ziemlich bedeutend von einander verschieden.

Auf beiden Seiten der heißen Zone, von den Wendekreisen bis zu den Polarkreisen (die Polarkreise sind diejenigen Parallelkreise, für welche der längste Tag gerade 24 Stunden dauert, sie liegen gerade 66° 32′ nördlich und südlich vom Erdäquator) liegen die nördliche und südliche gemäßigte Zone; die vier Jahreszeiten sind in ihnen am entschiedensten ausgesprochen; im Allgemeinen nimmt natürlich die Wärme mit der Entfernung vom Aequator ab.

Um die beiden Pole herum bis zu den Polarkreisen liegen die nördliche und die südliche kalte Zone.

In Folge der Umdrehung der Erde um ihre Axe nimmt die Sonne an

der scheinbaren Bewegung aller Gestirne Theil; eine Folge dieser täglichen Bewegung ist bekanntlich die Abwechselung zwischen Tag und Nacht. Nur während des Tages wird die Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen erwärmt, nach Sonnenuntergang strahlt sie Wärme gegen den Himmelsraum aus, ohne daß dieser Verlust ersetzt wird, während des Nachts muß also die Erdoberfläche erkalten.

Unter dem Aequator ist Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch gleich; jeder Tag und jede Nacht dauert 12 Stunden; sobald man sich aber von dem Aequator entfernt, wechselt die Tageslänge mit der Jahreszeit, und dieser Wechsel wird um so auffallender, je mehr man sich den Polen nähert. Die folgende Tabelle enthält die Dauer des längsten Tages für verschiedene geographische Breiten:

Polhöhe	Dauer des längsten Tages
0	12 Stunden
16° 44′	13 »
30° 48′	14 »
41° 24′	15 »
49° 22′	16 »
54° 31′	17 »
58° 27′	18 »
61° 19′	19 »
63° 23′	20 »
64° 50′	21 »
65° 48′	22 »
66° 21′	23 »
66° 32′	24 »
67° 23′	1 Monat
69° 50′	2 »
73° 39′	3 »
90	6 »

Unter dem Aequator kann also der Wechsel der Tageslänge keinen Einfluß auf den Gang der Wärme in verschiedenen Jahreszeiten haben. Da selbst unter den Wendekreisen die Ungleichheit der Tageslänge noch nicht sehr bedeutend ist, so kann also zwischen den Tropen überhaupt der Wechsel der Tageslänge nicht viel die Temperaturunterschiede zwischen der heißen und kalten Jahreszeit vergrößern oder verkleinern; in sehr hohem Grade ist dies aber bei hohen Breiten der Fall.

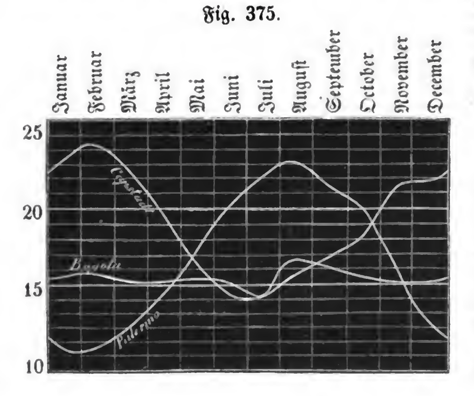
Im Sommer, wenn die Sonnenstrahlen weniger schräg auffallen, verweilt in höheren Breiten die Sonne auch länger über dem Horizonte: die längere Dauer der Einwirkung ersetzt, was den Sonnenstrahlen an Intensität abgeht, und so kommt es, daß es selbst an Orten, die sehr weit vom

Aequator entfernt liegen, im Sommer sehr heiß werden kann (in Petersburg steigt das Thermometer an heißen Sommertagen bisweilen auf 30°); im Winter hingegen, wo die ohnehin schräger auffallenden Sonnenstrahlen überhaupt nur wenig wirken können, ist der Tag obendrein sehr kurz, die Nacht aber, während welcher der Boden seine Wärme ausstrahlt, außerordentlich lang; und so muß also im Winter die Temperatur sehr tief sinken. Der Unterschied zwischen der Temperatur des Sommers und des Winters wird also im Allgemeinen um so größer seyn, je weiter man sich vom Aequator entfernt.

In Bogota, welches 4° 35′ nördlich vom Aequator liegt, beträgt die Temperaturdifferenz des heißesten und kältesten Monats nur 2°; in Mexico (19° 25′ N. B.) beträgt diese Differenz 8°; für Paris (48° 50′ N. B.) 27°, für Petersburg (59° 56′ N. B.) 32°.

Recht anschaulich werden diese Verschiedenheiten durch die graphischen Darstellungen in Fig. 375 und Fig. 376 gemacht. Fig. 375 stellt die Ab- und Zunahme der mittleren Temperatur von Monat zu Monat für Sta. Fe de Bogota, Palermo und die Capstadt, Fig. 376 (a. f. S.) aber stellt sie für Mexico, Paris, Moskau und Boothia Felix dar. Für Bogota ist die mittlere Temperatur des Februars nahe 16°, sie sinkt gegen Ende März auf 15°, die niedrigste Temperatur von 14½° fällt in den Monat Juli, im August aber erreicht die Wärme ein Maximum von 16½°; die Kurve für Bogota zeigt also in ihrem Verlaufe durchaus kein starkes Steigen und Fallen; die Jahreszeiten erscheinen hier ganz verwischt.

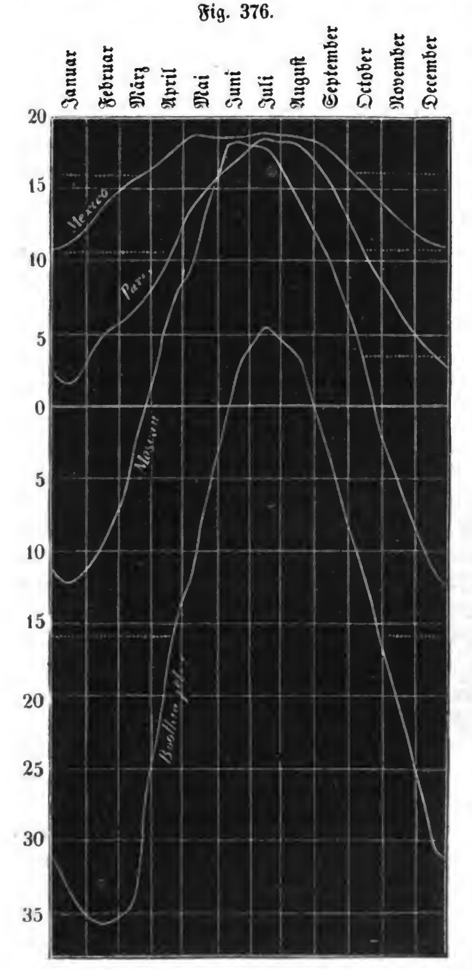
Fig. 375.



Anders verhält es sich in Palermo (38° 7′ N. B.). Hier herrscht gegen Ende Januar die niedrigste Temperatur des ganzen Jahres, nämlich 10,3°; dann nimmt die Wärme zu bis zum Anfang August, wo die mittlere Temperatur etwas über 23° beträgt; die Kurve für Palermo steigt und sinkt also schon sehr bedeutend im Vergleich gegen die von Bogota. Die Kurve für das Cap der guten Hoffnung ist der von Palermo sehr ähnlich, nur fällt natürlich der Sommer am Cap mit der kalten Jahreszeit in

Palermo zusammen, weil das Cap auf der südlichen, Palermo auf der nördlichen Halbkugel liegt.

Fig. 376.



Die Temperaturkurve für Mexico, welches dem Wendekreise des Krebses sehr nahe liegt, ist noch nicht sehr steil, schon steiler ist die Kurve für Paris, sehr steil endlich sind die Kurven für Moskau und Boothia Felix; an dem zuletzt genannten Orte beträgt die Temperaturdifferenz zwischen dem heißesten und kältesten Monat 41°.

Aus den oben angedeuteten Betrachtungen folgt also:

1) daß die Wärme von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß.

2) daß in der Nähe des Aequators die Wärme über das ganze Jahr ziemlich gleichförmig verbreitet ist, daß also der Charakter unserer Jahreszeiten dort ganz verwischt seyn muß.

3) daß die Jahreszeiten mit der Entfernung vom Aequator immer deutlicher vortreten und daß zugleich die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur immer bedeutender wird.

4) daß selbst bis in die Nähe der Polarkreise der Sommer noch bedeutend heiß seyn kann.

Alles dies finden wir auch durch die Erfahrung bestätigt, und dennoch lehrt uns eine solche Betrachtung die Wärmevertheilung auf der Erde nur in sehr groben Zügen kennen; es ist unmöglich aus der geographischen Breite eines Ortes einen auch nur einigermaßen sichern Schluß auf seine klimatischen Verhältnisse zu ziehen.

Wenn die ganze Erdoberfläche mit Wasser bedeckt oder wenn sie nur durch festes überall flaches Land gebildet wäre, welches überall von gleicher Beschaffenheit an allen Orten eine gleiche Fähigkeit besäße die Wärmestrahlen zu absorbiren und wieder auszustrahlen; so würde die Temperatur eines Ortes nur noch von seiner geographischen Breite abhängen, alle Orte desselben Breitengrades müßten ein gleiches Klima haben. Nun aber ist die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen hervorbringen können, durch mannichfache Ursachen modificirt, das Klima einer Gegend hängt nicht allein von der Richtung der Sonnenstrahlen, sondern auch von den Umständen ab, unter welchen sie wirken; es hängt ab von der Gestaltung des Landes und des Meeres, von der Richtung und Höhe der Gebirgszüge, von der Richtung der herrschenden Winde u. s. w. Daher kommt es denn, daß Orte von gleicher geographischer Breite oft ein sehr ungleiches Klima haben, und man sieht leicht ein, daß theoretische Betrachtungen nicht ausreichen, um die klimatischen Verhältnisse abzuleiten; die wahre Vertheilung der Wärme auf der Erdkugel läßt sich nur durch zahlreiche, Jahre lang fortgesetzte Beobachtungen genügend ermitteln. Humboldt hat hier den für alle Naturwissenschaften einzig und allein zur Wahrheit führenden Weg der Induction zuerst mit Erfolg betreten. Auf seinen Reisen auf beiden Hemisphären hat er mit unermüdlichem Eifer Thatsachen gesammelt und hat durch geistreiche Combination dieser Thatsachen zuerst eine wissenschaftliche Meteorologie begründet.

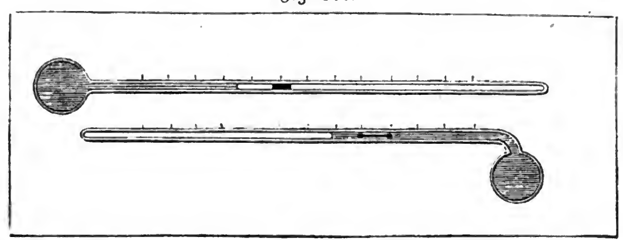
180 **Beobachtung des Thermometers.** Um die Temperatur der Luft an einem Orte genau beobachten zu können, muß man ein gutes Thermometer auf der Nordseite eines Gebäudes in der freien Luft 3 bis 4 Decimeter von der Wand aufstellen, so daß es nicht von den Sonnenstrahlen getroffen werden kann; auch darf keine weiße Wand in der Nähe seyn, von der man befürchten muß, daß sie Wärmestrahlen nach dem Thermometer reflectirt. Wenn das Thermometer naßgeregnet ist, so muß man die Kugel 5 Minuten, bevor man es ablesen will, vorsichtig abtrocknen, denn die anhängenden Wassertropfen würden durch ihre Verdunstung die Temperatur des Quecksilbers in der Kugel erniedrigen.

Es ist für die Meteorologie oft von der größten Wichtigkeit, die höchste und die niedrigste Temperatur zu erfahren, welche während irgend eines Zeitraums geherrscht hat, ohne daß man nöthig hat, gerade in den Momenten das Thermometer zu beobachten, in welchen das Maximum oder

Minimum stattfindet. Dies erreicht man nun durch den Thermometrographen sowohl als durch das Maximum- und Minimumthermometer von Walferdin.

Das Thermometrograph ist Fig. 377 abgebildet; es besteht aus

Fig. 377.



zwei Thermometern, deren Röhren wagerecht liegen und von denen das eine ein Quecksilberthermometer, das andere ein Weingeistthermometer ist. In der Röhre des Quecksilberthermometers liegt ein Stahlstiftchen, welches durch die Quecksilbersäule fortgeschoben wird, wenn sich das Quecksilber in der Kugel dieses Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer wieder erkaltet, so zieht sich die Quecksilbersäule wieder zurück, das Stahlstäbchen aber bleibt an der Stelle liegen, bis zu welcher es bei dem höchsten Stande des Thermometers geschoben worden war; ein solches Thermometer giebt also das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewissen Periode geherrscht hat.

In der Röhre des Weingeistthermometers liegt ein ganz feines Glasstäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker ist, wie man Fig. 377 deutlich sieht; das Glasstäbchen liegt noch in dem Weingeistsäulchen, und wenn der Weingeist an der Kugel erkaltet und sich die Weingeistsäule in der Röhre bis an das erste Knöpfchen des Glasstäbchens zurückgezogen hat, so wird bei fernerem Sinken der Temperatur das Glasstäbchen in Folge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas durch die noch weiter sich zurückziehende Weingeistsäule mitgenommen; wenn aber die Flüssigkeit in der Kugel wieder wärmer wird, so geht beim Steigen des Thermometers die Flüssigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzuschieben; das Stäbchen, welches von dunkelfarbigem Glase gemacht seyn muß, damit man es deutlich sehen kann, bleibt also an der Stelle liegen, welche dem Minimum der Temperatur entspricht, welche innerhalb eines gewissen Zeitraumes herrschte.

Wenn die Kugel des einen Thermometers auf der rechten Seite liegt, so liegt die des andern links, und wenn man den ganzen Apparat etwas neigt und leise daran stößt, so fällt das Stahlstäbchen durch sein Gewicht

Fig. 378.



bis auf die Quecksilbersäule, das Glasstäbchen aber bis an das Ende der Weingeistsäule herab. Wenn man das so vorgerichtete Instrument stehen läßt, so wird bei jedem Steigen der Temperatur das Stahlstäbchen fortgeschoben, das Glasstäbchen aber bei jedem Sinken der Temperatur zurückgezogen.

Dieses Instrument ist besonders geeignet, um das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur anzugeben. Wenn man es etwa jeden Abend in Stand setzt, so kann man den folgenden Abend ablesen, welches die höchste und welches die niedrigste Temperatur während der letzten 24 Stunden war.

Walferdin's Maximumthermometer ist Fig 378 abgebildet. Es ist ein gewöhnliches Quecksilberthermometer, welches an seinem obern Ende ein Ausflußbehälter *a* hat, in welches die offene Spitze *b* der Thermometerröhre hineinragt. Um dies Thermometer zur Beobachtung vorzubereiten, neigt man es etwas, so daß die Spitze des Thermometerrohres ganz von dem Quecksilber des Ausflußbehälters umgeben ist; man erwärmt es dann, bis die ganze Röhre mit Quecksilber gefüllt ist, und läßt es dann bis zu einer Temperatur erkalten, die sicherlich unter dem zu beobachtenden Maximum liegt; alsdann stellt man das Thermometer wieder aufrecht, so daß das überflüssige Quecksilber wieder von der Spitze weg in den sackartigen Behälter zurückfließt. Nehmen wir an, man habe das Thermometergefäß, um es zu erkalten, in Wasser getaucht, dessen Temperatur genau 20⁰ beträgt, so ist also bei 20⁰ die Thermometerröhre vollständig mit Quecksilber gefüllt; sobald es also einer Temperatur ausgesetzt wird, welche über 20⁰ hinausgeht, muß das Quecksilber in Tröpfchen aus der Spitze der Röhre auslaufen (Fig. 380). Wenn man nun das Thermometergefäß wieder auf 20⁰ erkaltet, so wird nicht mehr die ganze Röhre mit Quecksilber angefüllt seyn, sondern der Gipfel der Quecksilbersäule wird jetzt tiefer stehen, weil ja ein Theil des Quecksilbers ausgeflossen ist. Nehmen wir an, der Gipfel der Quecksilbersäule stünde jetzt 15⁰

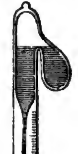
Fig. 379.



Fig. 380.



Fig. 381.



unter der Spitze *b*, so ist klar, daß bei einer Temperatur von 20 + 15⁰ die Röhre wieder ganz mit Quecksilber ausgefüllt seyn würde; das Maximum der Temperatur, welcher das Thermometer unterdessen ausgesetzt war, wäre also für diesen Fall 35⁰.

Walferdin's Minimumthermometer ist Fig. 381 dargestellt. Das Gefäß *a* ist mit Quecksilber gefüllt, über welchem sich etwas Weingeist befindet; in diesen Weingeist ragt die Spitze der Thermometerröhre herab. Um das Thermometer zur Beobachtung vorzubereiten, erkaltet man es unter die Temperatur, welcher es ausgesetzt werden soll, kehrt es alsdann um, wie man Fig. 382 sieht, und treibt dadurch, daß man es nun wieder etwas erwärmt, eine Quecksilbersäule in die Röhre, welche ungefähr die Länge von 15 Graden einnimmt; darauf wird das Thermometer wieder in seine aufrechte Stellung gebracht, und dadurch, daß man es in ein Wasserbad von genau bekannter Temperatur taucht, auf eine Temperatur gebracht, welche jedenfalls höher ist als das zu erwartende Temperaturminimum; die Stelle, an welcher jetzt der Gipfel der Quecksilbersäule steht, wird nun notirt. Nehmen wir an, der Gipfel der Quecksilbersäule stehe bei 20⁰ und die Temperatur des Wasserbades sey 12⁰ gewesen. Sobald nun das Thermometer niedrigeren Temperaturen ausgesetzt wird, sinkt die Quecksilbersäule, und ein Theil des Quecksilbers tröpfelt aus der Röhre durch den Weingeist in das untere Gefäß; wenn nun auch die Temperatur wieder steigt, so tritt doch kein Quecksilber mehr in die Röhre, der Quecksilberfaden ist also jetzt kürzer als vorher; nehmen wir an, er nehme nur noch eine Länge von 6⁰ ein, so muß unterdeß die Temperatur um 20 — 6, also um 14⁰ unter die Temperatur des Wasserbades gefallen gewesen seyn, das Minimum der Temperatur, welcher unterdeß das Thermometer ausgesetzt gewesen war, wäre also für unsern Fall 12 — 14, also — 2⁰ gewesen.

Fig. 382.

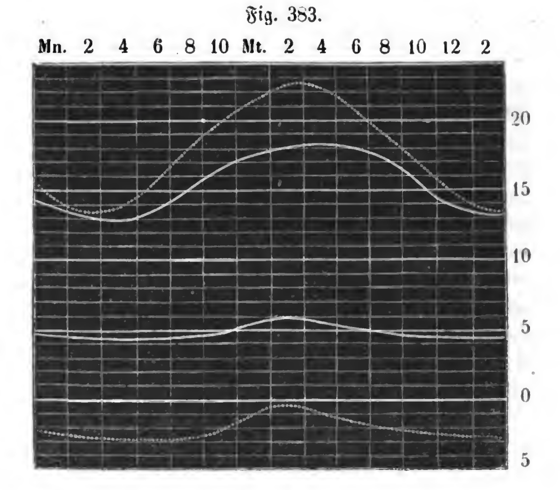


Walferdin's Maximumthermometer wird gewöhnlich angewandt, um die Temperatur in tiefen Bohrlöchern, das Minimumthermometer, um die Temperatur des Meeres in bedeutenden Tiefen zu erforschen.

181 **Tägliche Veränderungen der Temperatur.** Um alle Veränderungen der Wärme der Atmosphäre während 24 Stunden genau verfolgen zu können, müßte man ein Thermometer in möglichst kurzen Zwischenräumen, etwa von Stunde zu Stunde, beobachten. Wenn solche Beobachtungen längere Zeit fortgesetzt werden sollen, so ist klar, daß eine einzelne Person sie nicht anstellen kann und daß wenigstens mehrere sich zu diesem Zwecke vereinigen müssen; jedenfalls ist es sehr mühsam, solche Beobachtungsreihen anzustellen. Chiminello stellte zuerst eine solche Reihe von Beobachtungen in Padua während eines Zeitraums von 16 Monaten an; später wurde eine ähnliche Beobachtungsreihe auf Brewster's Veranlassung auf dem Fort Leith bei Edinburg angestellt, andere von Gatterer in Göttingen, Kupffer in Petersburg, Kämtz in Halle u. s. w. Die Fig. 383 stellt den sich aus solchen Beobachtungen ergebenden täglichen Gang der Temperatur für den heißesten und kältesten Monat zu Halle und Leith dar.

Die ausgezogenen Kurven gelten für Leith, die punktirten für Halle.

Fig. 383.



In Halle ist die mittlere Temperatur um 1 Uhr Nachts für den heißesten Monat (Juli) 14°; sie erreicht kurz vor 3 Uhr Morgens ihr Minimum von 13,4°, sie steigt alsdann fortwährend bis 3 Uhr Nachmittags,

wo sie ihr Maximum von 22,6° erreicht, worauf sie dann wieder sinkt.

Im Januar, dem kältesten Monate, beobachtet man das Minimum der täglichen Wärme, nämlich — 2,86°, ungefähr um 7 Uhr Morgens, das Maximum von — 0,59° aber ungefähr um 1 Uhr Nachmittags.

Für Leith findet das Minimum der Temperatur während des wärmsten Monats (Juli), nämlich eine Temperatur von 13°, Morgens um 4 Uhr, das Maximum von 18,24° gegen 5 Uhr Nachmittags Statt. Während des kältesten Monats (Januar) schwankt das Thermometer zu Leith zwischen einem Maximum von 5,89 und einem Minimum von 4,41°; ersteres fällt ungefähr auf 3 Uhr Nachmittags, letzteres ungefähr um 6 Uhr Morgens.

Das Minimum der Temperatur findet also kurz vor Sonnenaufgang, das Maximum einige Stunden nach Mittag Statt, und zwar im Sommer später, im Winter früher.

Dieser Gang läßt sich leicht erklären. Vor Mittag, während die Sonne stets höher und höher steigt, empfängt die Erdoberfläche mehr Wärme als sie ausstrahlt, ihre Temperatur und die Temperatur der Atmosphäre muß also steigen; dies dauert nun auch noch etwas über Mittag hinaus; wenn die Sonne aber tiefer sinkt, wenn ihre Strahlen weniger wirksam werden, so strahlt die erwärmte Erde mehr Wärme aus, als durch die Sonnenstrahlen ersetzt werden kann; diese Erkaltung dauert natürlich nach Sonnenuntergang noch fort, bis die Morgenröthe die Wiederkehr der Sonne ankündigt.

Nicht immer werden die täglichen Schwankungen des Thermometers diesen normalen Gang verfolgen, weil derselbe oft durch fremde Einflüsse, z. B. durch Umschlagen der Witterung, gestört wird; um das Gesetz der täglichen Wärmeveränderungen mit Sicherheit zu ermitteln, muß man deshalb den normalen Gang aus einer Combination möglichst zahlreicher Beobachtungen ableiten.

An manchen Orten leidet der normale Gang der täglichen Wärmevariationen durch örtliche Einflüsse, z. B. durch Windströmungen, regelmäßige Störungen, wodurch die Zeit des Maximums eine beständige Verrückung erleidet; so tritt an manchen Meeresküsten der heißen Zone das Maximum der täglichen Temperatur schon vor Mittag, z. B. im Mai zu Madras um 11 Uhr 18′ ein.

Die Betrachtung der Kurven, Fig. 383, führt uns noch zu anderen interessanten Resultaten. In Halle schwankt das Thermometer während des heißesten Monats in 24 Stunden durchschnittlich zwischen 13,5° und 22,5°, also um 9°, während für denselben Monat die Gränzen der täglichen Schwankungen des Thermometers für Leith nur etwas mehr als 5° auseinanderliegen; ein ähnliches Verhalten finden wir auch bei den

Winterkurven; auch hier sind die täglichen Veränderungen des Thermometerstandes für Halle bedeutender als für Leith; außerdem zeigen uns diese Kurven, daß der Sommer in Halle wärmer, der Winter aber kälter ist als in Leith. Wir werden auf diesen wichtigen Punkt zurückkommen, wenn wir die Unterschiede zwischen einem Land- und Seeklima besprechen werden.

Wenn man das Mittel aus je 24stündlichen Beobachtungen nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages; so ergiebt sich aus den Beobachtungen, nach welchen Fig. 383 construirt wurde, 18,2° für Halle und 15,7° für Leith als die mittlere Tagestemperatur im Monat Juli; — 2,05° und 5° aber für die mittlere Tagestemperatur im Monat Januar für Halle und Leith.

Da es ungemein mühsam ist, stündliche Thermometerbeobachtungen längere Zeit hindurch fortzusetzen, so ist es für die Meteorologie von der größten Wichtigkeit, Methoden ausfindig zu machen, durch welche man die mittlere Tagestemperatur ohne diese stündlichen Beobachtungen ausfindig machen kann. Zweimal des Tages muß das Thermometer die mittlere Tagestemperatur angeben, es scheint also am einfachsten, die Stunden auszumitteln, in welchen dies der Fall ist, und dann nur zu diesen Stunden das Thermometer abzulesen; diese Bestimmungsweise kann aber leicht zu Unrichtigkeiten führen, weil sich der Stand der Thermometer gerade zu der Zeit am schnellsten verändert, weil man also einen bedeutenden Fehler begehen kann, wenn man nur etwas zu früh oder zu spät beobachtet. Ein weit richtigeres Resultat erhält man, wenn man das Thermometer in mehreren gleichnamigen Stunden, etwa um 4 Uhr und um 10 Uhr Morgens und um 4 Uhr und 10 Uhr Abends, beobachtet; dies Mittel ist, wie Brewster gezeigt hat, bis auf $1/_{10}$ Grad genau; auch erhält man ein brauchbares Resultat, wenn man um 7 Uhr Morgens, des Mittags und um 10 Uhr Abends beobachtet und aus diesen 3 Beobachtungen das Mittel nimmt.

Das Mittel zwischen dem innerhalb 24 Stunden stattfindenden höchsten und niedrigsten Thermometerstande weicht, wie Humboldt durch die Vergleichung zahlreicher Beobachtungen gezeigt hat, die er zu Paris und unter dem Aequator anstellte, nur um einige Zehntel eines Grades von der wahren mittleren aus allen stündlichen Beobachtungen abgeleiteten Temperatur ab. Das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur läßt sich am bequemsten und am genauesten mit Hülfe eines Thermometrographen ermitteln.

Durch die Vergleichung der wahren mittleren Tagestemperatur mit dem Mittel aus dem höchsten und niedrigsten Thermometerstande läßt sich ein Correctionsfactor ermitteln, vermittelst dessen man im Stande ist, aus der

Beobachtung des täglichen Maximums und Minimums ganz genau das wahre Tagesmittel zu berechnen, ja man ist durch die Kenntniß des täglichen Ganges der Wärme im Stande, aus Beobachtungen, die zu beliebigen Stunden des Tages gemacht worden sind, das Tagesmittel abzuleiten, doch können wir hier nicht weiter darauf eingehen.

Wenn man für irgend einen Tag durch die nöthigen Beobachtungen die mittlere Temperatur ermittelt hat, so wird man in einem andern Jahre an demselben Tage nicht genau dieselbe Temperatur, sondern bald eine höhere, bald eine tiefere finden; so ergaben sich aus den Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für die mittlere Temperatur des 14. Juli von 1837 bis 1842 folgende Werthe:

1837	16,4° R.
1838	22,2
1839	19,5
1840	12,0
1841	13,8
1842	18,5
Mittel	17,06° R.

Für Frankfurt a. M. ist also nach diesen 5jährigen Beobachtungen die mittlere Temperatur des 14. Juli 17,06° R. Eine so kurze Periode reicht jedoch nicht hin, um die Durchschnittszahl der mittleren Temperatur irgend eines Tages im Jahre mit Sicherheit zu ermitteln.

Mittlere Temperatur der Monate und des Jahres. Wennt 182 man die mittlere Temperatur aller Tage eines Monates kennt, so ha man nur die Summe der mittleren Tagestemperaturen durch die Anzahl der Tage zu dividiren, um die *mittlere Temperatur des Monats* zu erhalten.

Nimmt man das arithmetische Mittel aus den für die 12 Monate des Jahres gefundenen Mitteltemperaturen, so erhält man die *mittlere Temperatur des Jahres*.

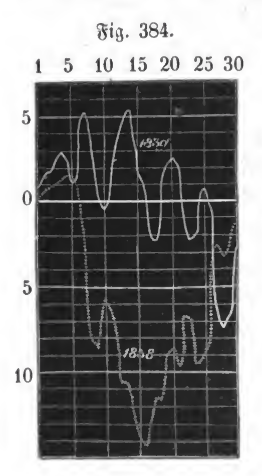
Um die *mittlere Temperatur eines Ortes* mit Genauigkeit zu bestimmen, muß man das Mittel aus einer möglichst großen Reihe von mittleren Jahrestemperaturen nehmen. In der Regel weichen aber die mittleren Jahrestemperaturen nur wenig von einander ab, so daß man die mittlere Temperatur eines Ortes selbst dann schon mit ziemlicher Genauigkeit erhält, wenn man sie nur für einige Jahre kennt. Für Paris waren folgende die mittleren Temperaturen der Jahre 1803 bis 1816:

10,5°	10,3°	9,9°
11,1	10,6	9,7
9,7	10,5	10,5
11,9	10,5	9,6
10,8	9,9.	

Die höchste dieser mittleren Jahrestemperaturen ist von der niedrigsten um 2,3° verschieden. Nimmt man das Mittel aus diesen 14 Zahlen, so erhält man als mittlere Temperatur von Paris 10,2°, aus einer Reihe von 30 Jahresmitteln ergiebt sich dagegen 10,8°.

Während die mittlere Jahrestemperatur an einem und demselben Orte nur unbedeutend schwankt, ist die Verschiedenheit der mittleren Temperatur eines und desselben Monats von einem Jahre zum andern oft sehr verschieden, wie dies z. B. durch die Betrachtung der Fig. 384 recht anschaulich wird, welche die Schwankungen der mittleren Tagestemperatur im Monate Januar für die Jahre 1838 und 1839 zu Frankfurt a. M. darstellt. Man sieht auf den ersten Blick, daß der Januar 1838 ungleich kälter war als im Jahre 1839. Im Januar 1838 sank das Thermometer am 6. Januar unter Null und blieb dann den ganzen Monat hindurch unter dem Gefrierpunkte; die Temperatur erreichte am 16. ein Minimum von — 14,4° R., während die niedrigste mittlere Tagestemperatur im Januar 1839 nur — $7\frac{1}{4}$° R. betrug. Die mittlere Temperatur des Monats Januar war im Jahre 1838 — 5,9° R., im Jahre 1839 aber + 0,33° R.; die mittlere Temperatur des Januars 1838 war also um mehr als 6° niedriger als die des Januars 1839.

Fig. 384.



Um die wahre Mitteltemperatur eines Monats zu finden, muß man die mittlere Temperatur dieses Monats für eine Reihe von Jahren kennen und daraus das Mittel nehmen.

Die größte Hitze findet in der Regel in unseren Gegenden einige Zeit nach dem Sommersolstitium, die größte Kälte etwas nach dem Wintersolstitium Statt.

Der Juli ist durchschnittlich der heißeste, der Januar der kälteste Monat. Wenn die Zeit der höchsten und niedrigsten Temperatur nicht

für alle Orte derselben Hemisphäre genau dieselbe ist, so ist eine solche Verschiedenheit nur durch locale Einflüsse bestimmt.

Im Durchschnitt können wir für die gemäßigte Zone der nördlichen Halbkugel den 26. Juli für den heißesten, den 14. Januar für den kältesten Tag des Jahres betrachten.

Arago hat in einer Liste alle Tage zusammengestellt, an welchen zu Paris von 1665 bis 1823 das Maximum und das Minimum der Temperatur beobachtet worden war. Die kältesten Tage fallen meistens in die zweite Woche des Januar, die heißesten Tage sind unregelmäßig im Juli und August vertheilt. In Mastrich fiel während der Jahre 1818 bis 1833 das Maximum der Temperatur

11mal in den Juli
3mal » » August
2mal » » Juni.

Das Minimum aber

6mal in den Januar
5mal » » Februar
3mal » » December
2mal » » März.

Im Durchschnitt fällt dort die höchste Temperatur auf den 19. Juli, die niedrigste auf den 22. Januar.

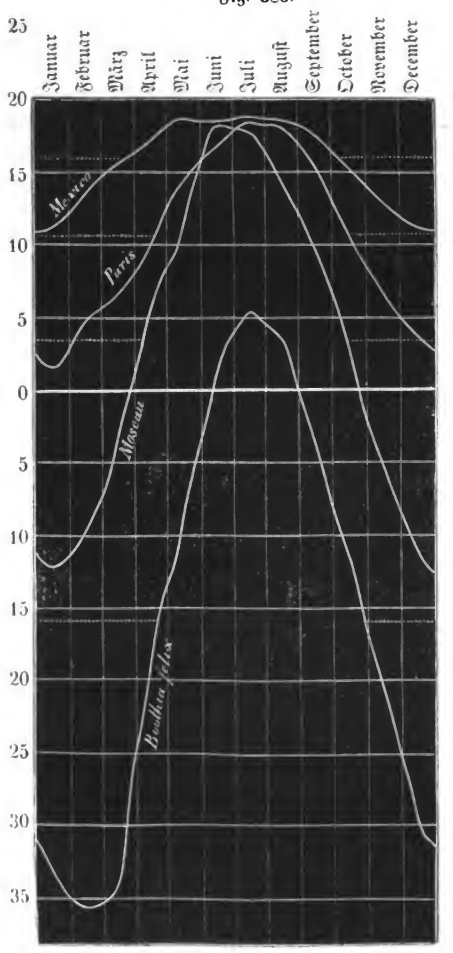
In Frankfurt a. M. wurden die Maxima und Minima der Temperatur von 1838 bis 1842 an folgenden Tagen beobachtet:

	Maxima:		Minima:	
1838	14. Juli	27,7° R.	16. Januar	— 18,0
1839	17. Juni	27,0	28. Januar	— 9,4
			4. Februar	— 9,6
1840	2. Juni	23,0	12. Januar	— 12,7
	2. Septbr.	23,4	16. Decbr.	— 14,9
1841	24. Mai	25,1	6. Februar	— 11,0
1842	19. August	26,0	12. Januar	— 9,0.

Nach 20jährigen Beobachtungen zu Frankfurt a. M. ergiebt sich, daß daselbst im Durchschnitt der 22. Juli der heißeste, der 15. Januar der kälteste Tag des Jahres ist.

Aus Fig. 385 sieht man, daß das Minimum der Temperatur in Mexico in der Regel auf den Anfang Januar, in Paris und Moskau auf die Mitte des Januar, für Boothia Felix aber auf die Mitte des Februar fällt. Die heißeste Zeit ist für Paris die letzte Hälfte des Juli und die erste des August, für Moskau die letzte Hälfte des Juni und die erste des Juli, für Boothia Felix die Mitte des Juli.

Fig. 385.



Da die Temperatur ungefähr während eines halben Jahres höher, während des andern halben Jahres aber niedriger ist als die mittlere Jahrestemperatur, so ist klar, daß der mittlere Gang der Wärme zweimal die mittlere Jahrestemperatur passiren muß, und es läßt sich schon im Voraus denken, daß dies im Frühjahr und im Herbst der Fall seyn wird. Wie man in unserer Figur sieht, ist die mittlere Jahrestemperatur für jeden der 4 Orte durch eine horizontale punktirte Linie angedeutet, welche auf beiden Seiten vom Rande der Figur bis zur entsprechenden Temperaturkurve geht; man übersieht auf diese Weise leicht, daß für Paris und Moskau ungefähr im April und October die mittlere Jahrestemperatur herrschen wird.

In Boothia Felix herrscht die mittlere Jahrestemperatur ebenfalls in der Mitte April und zu Ende October, in Mexico im März und im October.

Für Frankfurt a. M. tritt der mittlere Wärmegrad des ganzen Jahres durchschnittlich am 8. April und am 18. October ein.

Aus zahlreichen Temperaturbeobachtungen geht hervor, daß in der nördlichen gemäßigten Zone die mittlere Jahrestemperatur in der Regel auf den 24. April und den 21 October fällt; der jährliche Gang der Wärme ist demnach in diesen Gegenden folgender. Die Temperatur steigt von der Mitte Januar anfangs langsam, schneller im April und Mai, dann wieder langsamer bis zur Mitte Juli, darauf nimmt sie wieder ab, und zwar langsam im August, schneller im September und October, und erreicht in der Mitte Januar wieder ihr Minimum. Dieser Gang läßt sich leicht erklären. Wenn die Sonne nach dem Wintersolstitium wieder höher steigt, so geschieht doch dieses Steigen so langsam, die Tage nehmen so wenig zu, daß noch keine kräftigere Wirkung der Sonnenstrahlen möglich ist, das Minimum der Jahrestemperatur findet deshalb nach dem Wintersolstitium Statt; ein Steigen der Temperatur findet erst Statt, wenn die Sonne schon etwas weiter nach Norden gerückt ist; um die Zeit der Aequinoctien schreitet die Sonne am Himmelsgewölbe am schnellsten gegen Norden vor, deshalb ist um diese Zeit die Temperaturzunahme auch am merklichsten.

Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, ist die Erde noch nicht so stark erwärmt, daß die Wärme, welche der Boden durch die Ausstrahlung verliert, der Wärmemenge gleich ist, welche er durch die Sonnenstrahlen erhält; dieser Gleichgewichtszustand würde sich, wenn die Sonne längere Zeit an dem nördlichen Wendepunkte stehen bliebe, erst nach einiger Zeit herstellen. Nun geht aber die Sonne nach dem Sommersolstitium anfangs nur sehr langsam zurück, die Wirkung der Sonnenstrahlen ist einige Zeit hindurch fast noch eben so stark wie im Momente des Solstitiums selbst; die Temperatur wird also auch noch nach dem längsten Tage, und zwar bis zur Mitte Juli, steigen, um dann wieder abzunehmen.

Diese Betrachtungen führen uns auf die Eintheilung des Jahres in vier Jahreszeiten.

Für die Meteorologie ist die astronomische Eintheilung, bei welcher die Jahreszeiten durch die Aequinoctien und Solstitien abgegränzt sind, nicht ganz zweckmäßig; am passendsten möchte es wohl seyn, das Jahr so einzutheilen, daß der heißeste Monat (Juli) in die Mitte des Sommers, der kälteste Monat (Januar) in die Mitte des Winters fällt. Demnach umfaßt der Winter die Monate December, Januar, Februar; der Früh-

ling März, April, Mai; der Sommer Juni, Juli, August; der Herbst September, October und November. Nach dieser Bedeutung sind auch die Jahreszeiten in der folgenden Tabelle zu nehmen, welche für eine große Anzahl von Orten, die über die ganze Erde zerstreut liegen, die mittlere jährliche Temperatur, die mittlere Temperatur der einzelnen Jahreszeiten, des heißesten und des kältesten Monats enthält. Diese Tabelle ist gewissermaßen ein Auszug aus der noch weit mehr Orte enthaltenden Mahlmann'schen Tabelle, welche dem dritten Theile von Humboldt's Asie centrale angehängt ist.

Mittlere Temperatur von 123 Orten, nach Mahlmann.

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes	des kältesten Monats	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungs-Jahre.
Insel Melville . . .	74° 47′ N	113° 8′ W	—	— 18,7	— 33,5	— 19,5	2,8	— 18,0	— 35,8 Febr.	5,8 Juli.	1
Ustjansk	70 55 —	136 4 O	—	— 16,6	— 38,4	— 14,7	9,2	— 23,9	— 40,3 Jan.	13,7 —	1 - 3
Boothia-Felix	70 2 —	94 10 W	—	— 15,7	— 33,2	— 20,7	3,4	— 12,4	— 35,6 Febr.	5,1 —	2—3
Jakuzk	62 1 —	126 47 O	117	— 9,7	— 38,9	— 8,3	17,2	— 6,6	— 40,5 —	20,3 —	. . .
Nain (Labrador) . .	57 10 —	64 10 W	—	— 3,6	— 18,5	— 5,8	7,6	— 2,2	— 20,9 —	9,3 Aug.	3
Enontekis	68 40 —	20 0 O	435	— 2,[illegible]	— 17,0	— 3,9	12,6	— 2,7	— 17,8 Jan.	14,5 Juli.	4
Casino auf dem Aetna	37 6 —	12 41 —	2990	— 1,3	— 8,6	— 2,7	6,6	— 0,6	— 17,8 —	14,5 —	4
St. Bernhard . . .	45 50 —	4 45 —	4843	— 1,0	— 7,8	— 2,0	6,1	— 0,4	— 8,7 —	6,8 —	21
Slatoust	55 8 —	57 8 —	322	— 0,7	— 16,6	0,8	15,2	0,2	— 18,0 Febr.	15,8 —	4
Irkuzk	52 16 —	101 58 —	409	— 0,2	— 17,6	4,5	15,9	— 2,2	— 19,5 Jan.	17,5 —	10
Nord-Cap	71 10 —	23 30 —	—	0,1	— 4,6	— 1,3	6,4	— 0,1	— 5,5 —	8,1 —	1
Kasan	55 48 —	46 47 —	58	2,2	— 14,3	2,6	17,0	2,8	— 16,5 —	18,4 —	12
Petersburg	59 56 —	27 59 —	—	3,5	— 8,4	1,7	15,7	4,7	— 10,3 —	16,9 —	25
Moskau	55 45 —	35 18 —	146	3,6	— 10,3	6,3	16,8	1,6	— 10,6 —	17,6 —	25
Reikiavig	64 8 —	24 16 W	—	4,0	— 1,6	2,4	12,0	3,3	— 2,1 Febr.	13,5 —	14
Falun	60 39 —	13 25 O	121	4,4	— 5,5	3,2	14,6	5,3	— 7,4 Jan.	15,8 —	9
Upsala.	59 52 —	15 18 —	—	5,2	— 3,7	3,4	15,1	6,2	— 4,9 —	16,3 —	27
				5,3	. . . . .	. . . . .	. . .	. . .	— 5,0 —	16,8 —	83
Christiania	59 54 —	8 25 —	—	5,4	— 3,8	4,0	15,3	5,8	— 4,8 —	16,5 —	10
Pempey (Nordam.)	42 56 —	78 25 W	390	6,1	— 5,3	5,3	17,7	6,8	— 6,2 —	19,0 —	14
Königsberg	54 43 —	18 10 O	—	6,2	— 3,3	5,3	15,9	6,7	— 4,2 —	17,0 —	24
Halifax	44 39 —	65 57 W	—	6,2	— 4,4	2,9	17,2	9,0	— 5,2 —	19,2 —	2—9
Wilna	54 41 —	22 58 O	117	6,3	— 4,6	5,7	17,6	6,5	— 5,9 —	18,5 —	6
Montreal	45 31 —	75 55 W	. . .	6,5	— 8,1	6,8	20,6	8,4	— 9,7 —	21,7 —	13

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes.	des kältesten Monats.	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungs-Jahre.
Leadhills	55° 25′ N	6° 8′ W	390	6,6	0,2	6,4	13,1	6,5	— 0,2 Jan.	14,0 Juli.	10
Fort Snelling	44 53 —	95 28 —	240	6,6	— 9,8	8,2	21,3	7,2	— 11,9 —	22,4 —	5
Tilsit	55 4 —	19 33 O	. . .	6,7	— 3,6	5,9	16,7	7,3	— 5,4 —	17,5 —	20
Neu-Archangelsk	57 3 —	137 38 W	. . .	6,9	0,7	5,2	12,7	8,6	— 0,2 Febr.	13,5 Aug.	3—5
Lund	55 42 —	10 51 O	—	7,2	— 1,4	5,4	16,7	8,3	— 1,9 Jan.	17,4 Juli.	54
Freiberg	50 55 —	11 0 —	403	7,2	— 1,7	7,2	15,9	7,5	— 3,2 —	16,4 —	9
Gotha	50 57 —	8 23 —	308	7,3	— 1,3	7,3	15,5	7,6	— 3,2 —	16,8 —	8
Tabor	49 24 —	12 19 —	429	7,3	— 2,7	7,3	16,9	7,7	— 4,6 —	18,0 —	15
Dunfermlinie	56 5 —	5 46 W	. . .	7,4	2,6	6,1	12,9	7,8	— 2,1 —	13,8 —	20
Warschau	52 13 —	18 42 O	121	7,5	— 2,5	7,0	17,5	8,0	— 4,0 —	18,2 —	26
Danzig	54 21 —	16 18 —	. . .	7,6	— 1,2	6,7	16,4	8,4	— 2,6 —	17,5 —	26
Bern	46 57 —	5 6 —	585	7,8	— 0,9	7,7	15,8	8,5	— 2,8 —	16,6 Aug.	20
Augsburg	48 22 —	8 34 —	493	7,9	— 0,7	8,3	16,6	8,2	— 3,8 —	17,5 Juli.	22
Breslau	51 6 —	14 42 —	140	8,1	— 1,0	7,2	17,3	8,1	— 1,5 —	19,1 —	18
Copenhagen	55 41 —	10 14 —	—	8,2	— 0,4	6,5	17,2	9,3	— 1,4 —	18,2 —	52
Apenrade	55 3 —	7 5 —	—	8,3	0,6	6,9	16,2	9,0	— 0,4 —	16,9 —	16
Fulda	50 34 —	7 24 —	273	8,3	— 2,6	8,1	18,7	8,9	— 3,5 —	19,6 Aug.	11
Kremsmünster	48 3 —	11 48 —	361	8,3	— 1,9	. . . . .	17,6	. . .	. . . . . .	. . . . .	11
Dresden	51 3 —	11 24 —	121	8,5	— 0,4	8,4	17,2	8,4	— 2,0 —	18,0 Juli.	10
St. Gallen	47 26 —	7 2 —	. . .	(8,5)	0,0	7,7	(17,2)	8,9	— 1,7 —	(19,8) —	10
Edinburg	55 57 —	5 32 W	88	8,6	3,6	7,6	14,4	8,9	2,9 —	15,0 —	17
Hamburg	53 33 —	7 38 O	—	8,6	0,3	8,0	17,0	8,8	— 1,3 —	17,5 —	19
Berlin	52 31 —	11 3 —	39	8,6	— 0,8	8,0	17,3	8,8	— 2,4 —	18,0 —	25
				8,6	— 0,7	8,4	17,6	9,1	— 3,1 —	18,3 —	22
Tübingen	48 31 —	6 43 —	331	8,6	— 0,2	8,6	17,1	8,9	— 2,2 —	17,8 —	13
Manchester	53 29 —	4 35 W	47	8,7	2,8	7,9	14,8	9,2	— 2,1 —	15,2 —	25

Halle	51 31 —	9 37 O	111	8,8	0,0	8,6	17,5	9,1	— 2,3 —	19,2 —	5—10
München	48 9 —	9 14 —	526	8,9	— 0,4	9,0	17,4	9,1	— 1,5 —	18,0 —	32
Salem	42 31 —	73 14 W	—	8,9	— 2,6	7,2	20,6	10,5	— 3,8 —	21,9 —	45
Inspruck	47 16 —	9 4 O	526	9,0	— 1,9	10,0	18,3	9,6	— 3,8 —	18,4 —	51
Göttingen	51 32 —	7 36 —	132	9,1	0,6	. . . . .	17,6	. . .	. . . . . .	. . . . .	%
Albany	42 39 —	76 5 W	39	9,2	— 3,0	8,7	20,9	9,7	— 3,9 Febr.	22,2 —	17
Boston	42 21 —	73 24 —	. . .	9,3	— 1,6	7,7	20,5	10,4	— 3,3 Jan.	21,8 —	10
Dublin	53 23 —	8 41 —	—	9,5	4,6	8,4	15,3	9,8	4,3 Jan.	16,0 Juli.	13
Münster	51 58 —	5 18 O	63	9,5	2,2	8,7	16,8	10,1	0,7 —	17,4 —	10
Prag	50 5 —	12 6 —	191	9,5	— 0,4	9,6	18,9	9,8	— 2,4 —	20,2 —	15
Leyden	52 10 —	2 9 —	—	9,7	2,4	8,4	17,2	10,5	1,2 —	17,9 —	19
Genf	46 12 —	3 49 —	396	9,7	1,2	9,5	17,9	10,2	— 0,4 —	18,6 —	40
Council-Bluffs . . .	41 25 —	98 3 W	244	9,7	— 5,2	10,6	23,2	10,3	— 6,9 —	23,9 —	5
Frankfurt a. M. . .	50 7 —	6 21 O	117	9,8	1,2	9,9	18,3	10,0	— 0,4 —	18,9 —	30
Straßburg	48 35 —	5 25 —	146	9,8	1,1	10,0	18,1	10,0	— 0,4 —	18,8 —	32
Haarlem	52 23 —	2 18 —	—	10,0	2,8	9,2	17,0	11,0	1,0 —	17,7 —	18
Trier	49 46 —	4 18 —	156	10,0	1,9	10,0	17,8	10,1	0,0 —	18,7 —	11
Würzburg	49 48 —	7 36 —	172	10,1	1,6	10,2	18,7	9,7	— 0,9 —	19,6 —	27
Wien	48 13 —	14 3 —	156	10,1	0,2	10,5	20,3	10,5	— 1,6 —	20,7 —	24—14
Brüssel	50 51 —	2 2 —	58	10,2	2,5	10,1	18,2	10,2	1,2 —	18,8 —	36
Mannheim	49 29 —	6 8 —	92	10,3	1,5	10,4	19,5	9,8	0,9 —	20,2 —	12
London	51 31 —	2 26 W	—	10,4	4,2	9,5	17,1	10,7	3,0 —	17,8 —	40
Paris	48 50 —	0 0 —	64	10,8	3,3	10,3	18,1	11,2	1,8 —	18,9 —	33
Plymouth	50 22 —	6 28 —	—	11,1	6,9	10,1	16,0	11,7	5,9 —	16,6 —	11
Hobarttown	42 45 —	145 15 —	—	11,3	5,6	11,6	17,3	10,9	4,5 —	17,3 —	1
Sebastopol (Krimm)	44 36 —	31 12 O	49	11,5	1,8	10,2	21,7	12,6	0,6 —	22,4 —	15
La Rochelle	46 9 —	3 28 W	—	11,6	4,2	10,6	19,4	11,5	2,9 Dec.	20,2 —	11
Baltimore	39 17 —	78 58 —	. . .	11,6	0,4	10,4	23,1	12,9	— 0,6 Jan.	24,0 —	8
Padua	45 24 —	9 32 O	—	12,5	2,8	12,1	21,9	13,0	1,8 —	22,9 —	37
Peking	39 54 —	114 9 —	97	. . . .	— 1,0	14,8	. . .	. . .	— 2,3 —	. . . . .	1
				12,7?	— 3,2?	13,5	28,1?	12,4	— 4,1? —	29,1 Juni.	6
Venedig	45 26 —	10 0 —	—	13,7	3,3	12,6	22,8	13,3	1,8 —	23,9 Juli.	19—7
Constantinopel . . .	41 0 —	26 39 —	. . .	13,7	4,8	11,0	23,0	15,8	. . . . . .	. . . . .	1—3

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur. des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes.	des kältesten Monats.	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungs-Jahre.
Bordeaux	44 50 N	2 55 W	—	13,9	6,1	13,4	21,7	14,4	5,0 Jan.	22,9 Juli.	10
Mafra	38 56 —	11 41 —	228	13,9	9,6	12,7	18,2	15,1	9,2 —	19,7 —	4
Marseille	43 18 —	3 2 O	45	14,1	6,9	12,9	21,4	14,7	5,2 —	22,8 —	16—10
Madrid	40 25 —	6 2 W	663	14,2	5,6	14,2	23,4	13,7	. . . . . .	. . . . .	2—3
Avignon.	43 57 —	2 28 O	—	14,4	5,8	13,9	23,1	14,6	4,8 —	23,8 Aug.	25
Santa-Fe-de-Bogota	4 36 —	76 34 W	2631	15,0	15,1	15,3	15,3	14,5	14,0 Juli.	16,1 —	1—2
Florenz	43 47 —	8 55 O	64	15,3	6,8	14,7	24,0	15,7	5,3 Jan.	25,2 Juli.	12
Rom.	41 54 —	10 8 —	53	15,4	8,1	14,1	22,9	16,5	7,2 —	23,9 —	30
Quito	0 14 S	81 5 W	2914	15,6	15,4	15,7	15,6	17,5	14,8 Juli.	16,3 März.	2—3
Neapel.	40 51 N	11 55 O	55	16,7	9,9	15,6	23,9	17,3	9,0 Jan.	25,0 Aug.	8
				16,4	9,8	15,2	23,6	16,8	9,2 —	24,5 —	18
Lissabon	38 42 —	11 29 W	72	16,4	11,3	15,5	21,7	17,0	11,2 —	22,3 Juli.	5
Mexico	19 26 —	101 26 —	2271	16,6	13,0	18,1	19,1	16,2	12,3 —	19,7 Jun.	2
Buenos-Ayres. . . .	34 37 —	60 44 —	—	16,9	11,4	15,2	22,8	18,1	11,0 —	23,8 Aug.	1—4
Palermo.	38 7 —	11 1 O	55	17,2	11,4	15,0	23,5	19,0	10,7 Febr.	24,6 —	39
Algier	36 47 —	0 43 W	—	17,8	12,4	17,2	23,6	21,4	(14,5) März	24,7 —	4
Gibraltar	36 7 —	7 41 —	. . .	17,9	13,8	17,3	22,7	17,8	13,7 Febr.	23,5 Juli.	2
Canea	35 29 —	21 40 O	. . .	18,0	12,4	15,6	25,2	18,9	11,9 Jan.	27,5 Aug.	1—2
Smyrna.	38 26 —	24 48 —	. . .	18,2	11,1	14,6	26,0	21,1	. . . . . .	. . . . .	1
Funchal	32 38 —	19 15 W	—	18,7	16,3	17,5	21,1	19,8	15,7 —	23,3 —	6
Cap der guten Hoffnung	33 55 S	16 8 O	—	19,1	14,8	18,6	23,4	19,4	14,3 Aug.	24,1 Jan.	7—11
Montevideo	34 54 —	58 33 W	. . .	19,3	14,1	18,1	25,2	20,0	13,3 Juli.	26,7 Dec.	1
Tunis	36 48 N	7 51 O	—	20,3	13,2	18,3	28,3	21,9	11,7 Jan.	30,3 Aug.	3—4
Canton	23 8 —	110 56 —	—	21,0	12,7	21,0	27,8	22,7	11,4 —	28,3 Juli.	10
				21,6	13,7	21,8	28,2	22,5	13,3 —	28,5 Juni.	3

Las-Palmas (Canarische Inseln) . . .	28	0	—	17	51	W	—	21,8	18,0	19,4	23,8	26,2	17,8	—	29,2	Oct.	12
Caracas	10	31	—	69	25	—	887	22,0	20,9	21,8	23,4	22,2	20,0	Febr.	24,0	Juli.	1—2
Macao	22	11	—	111	14	O	—	22,5	16,4	21,1	28,3	24,1	14,5	—	28,6	—	2—5
Candy	7	18	—	78	30	—	513	22,7	22,3	23,5	22,8	22,4	21,8	Jan.	24,2	Mai.	5—6
Rio-Janeiro	22	55	S	45	36	W	. . .	23,1	20,3	22,5	26,1	23,6	19,6	Juli.	26,7	Jan.	7—9
St. Louis (Senegal)	16	1	N	18	53	—	—	24,6	21,1	21,4	27,6	28,2	19,9	Febr.	30,8	Sept.	1
Delta des Indus . .	24	44	—	65	57	O	. . .	. . . .	17,8	. . . . .	. . .	. . .	17,2	Febr.	. . . . .		1
Havanna	23	9	—	84	43	W	—	25,0	22,6	24,6	27,4	25,6	21,9	Jan.	27,5	Aug.	8
Vera-Cruz	19	12	—	98	29	—	—	25,0	21,5	25,0	27,5	26,0	21,2	—	27,8	Mai.	13
Seringapatam . . .	12	45	—	74	21	O	735	25,1	22,9	28,5	24,5	24,4	21,6	—	29,4	—	2
Benares	25	19	—	80	35	—	97	25,4	16,3	30,0	29,6	24,1	15,2	Dec.	33,4	—	4
Calcutta	22	35	—	86	0	—	—	28,5	19,9	28,1	28,5	26,1	18,4	Jan.	29,9	—	17—8
Bombay	18	56	—	70	34	—	—	26,0	23,2	27,2	28,1	27,3	22,4	—	29,3	—	2
Jamaika	17	50	—	79	2	W	. . .	26,1	24,6	25,7	27,4	26,6	24,4	—	27,7	Juli.	5
Paramaribo	5	45	—	57	33	—	. . .	26,5	25,9	26,3	26,9	28,2	25,6	Febr.	28,6	Sept.	1—3
Singapore	1	17	—	101	30	O	. . .	26,5	25,9	26,9	27,1	26,7	25,6	Jan.	27,4	Juni.	6
Batavia	6	9	S	104	33	—	—	26,8	26,2	26,8	27,2	27,1	25,9	Juni.	27,8	Jan.	1
Cumana	10	28	—	66	30	W	—	27,4	27,0	28,6	28,1	. . .	26,9	Jan.	29,2	Mai.	1
Küste von Guinea .	5	30	—	2	0	—	—	27,4	28,1	28,3	26,4	27,0	25,6	Febr.	28,8	Febr.	1—2
Madras	13	5	—	77	57	O	—	27,8	24,8	28,6	30,2	27,5	24,1	Jan.	31,3	Juni.	25
Kouka	13	10	—	12	10	—	351	28,2	23,8	32,6	29,0	27,2	20,6	Dec.	33,7	Apr.	1—2
Massowa (Abyssinien	15	36	—	37	9	—	—	(31,0)	26,7	29,5	. . .	32,0	25,5	Jan.	(33,8)	Spt.	1

Die mittleren Temperaturen des heißesten und des kältesten Monats geben uns durchaus noch nicht die Gränzen an, zwischen welchen an einem Orte das Thermometer schwanken kann, denn es sind ja selbst nur Mittelzahlen; dann aber schwankt ja auch, wie wir oben gesehen haben, die mittlere Temperatur eines und desselben Monats von einem Jahre zum andern oft sehr bedeutend. So kommt es denn auch, daß selbst in Gegenden, die sich sonst eines warmen Klimas und eines milden Winters erfreuen, manchmal eine ganz außerordentliche Kälte eintritt; so war z. B. im Jahre 1507 der Hafen von Marseille in seiner ganzen Ausdehnung zugefroren, wozu wenigstens eine Kälte von — 18° erforderlich war; im Jahre 1658 zog Karl X. mit seinem ganzen Heere sammt dem schweren Geschütze über den kleinen Belt. Im Jahre 1709 war der Meerbusen von Venedig und die Häfen von Marseille, Genua und Cette zugefroren, und 1789 fiel das Thermometer zu Marseille auf — 27°. Die folgende Tabelle giebt die höchsten und niedrigsten Temperaturen an, welche an verschiedenen Orten beobachtet worden sind.

	Minimum	Maximum	Differenz
Surinam	21,3°	32,3°	11,0°
Pondicheri	21,6	44,7	23,1
Esna (Aegypten)		47,4	
Cairo	9,1	40,2	31,1
Rom	— 5,9	38,0	43,9
Paris	— 23,1	38,4	61,5
Prag	— 27,5	35,4	62,9
Moskau	— 38,8	32,0	70,8
Fort Reliance (Nordamerika)	— 56,7.		

Bedeutendere Abweichungen von dem normalen jährlichen Gange der Wärme treten nicht local auf, sondern sie sind über größere Strecken verbreitet; so war z. B. der Winter von 1821 auf 1822 in Europa sehr gelind, im December 1822 aber herrschte im ganzen westlichen Europa eine strenge Kälte; niemals ist jedoch eine gleichnamige bedeutende Abweichung über eine ganze Hemisphäre verbreitet. In der Regel ist die nördliche Halbkugel in der Richtung von Norden nach Süden in zwei Hälften getheilt, auf welchen entgegengesetzte Abweichungen von der normalen Temperatur beobachtet werden; ungefähr in der Mitte dieser beiden Hälften sind die Abweichungen am größten, da, wo sie aneinander stoßen, herrscht eine mittlere Temperatur. So war der Februar 1828 in Kasan und Irkutzk sehr kalt, in Nordamerika ungewöhnlich gelind, Europa aber lag indifferent zwischen diesen entgegengesetzten Abweichungen. Im December 1829 fiel das Maximum der Kälte nach Berlin, in Kasan war diese Kälte noch sehr

merklich; in Nordamerika aber herrschte ein ungewöhnlich gelindes Wetter, dagegen war die Kälte des Decembers 1831 auf Amerika beschränkt.

Meistens herrschen in Europa und Asien dieselben, in Amerika aber die entgegengesetzten Abweichungen vom mittleren Gange der Wärme.

Manchmal, jedoch seltener, läuft die Gränzlinie entgegengesetzter Abweichungen von Osten nach Westen.

Eine Abweichung von der mittleren Temperatur dauert oft längere Zeit hindurch in demselben Sinne fort. Vom Juni 1815 bis zum December 1816 herrschte in Europa eine ungewöhnlich niedrige Temperatur, was auch die Mißernte von 1816 zur Folge hatte; das Jahr 1822 war bekanntlich ein ausgezeichnetes Weinjahr; die ungewöhnliche Wärme dauerte damals vom November 1821 bis zum November 1822.

Daraus folgt nun auch, daß die Meinung, als ob auf einen kalten Winter ein heißer Sommer, auf einen warmen Winter aber ein kühler Sommer folgen müsse, ganz irrig ist, indem häufig das Gegentheil stattfindet, wie man schon aus den beiden eben angeführten Beispielen sieht; so folgte ja auch der heiße Sommer 1834 auf einen sehr gelinden Winter.

Die Abweichungen von dem mittleren Gange der Wärme sind im Winter meist auffallender als im Sommer.

Sonach ist es höchst wahrscheinlich, daß stets dasselbe Wärmequantum, nur ungleich, auf der Erdoberfläche vertheilt sey. Ein kalter Winter ist die Folge eines längere Zeit vorherrschenden Nordostwindes, ein kühler Sommer aber die Folge vorherrschender Südwestwinde; diese sich abwechselnd verdrängenden Luftströmungen sind, wie Dove gezeigt hat, das Bedingende unserer Witterungsverhältnisse. Wenn auf einen kalten Winter ein heißer Sommer folgen sollte, so müßte ein ganzes Jahr hindurch der Nordost-, wenn aber auf einen milden Winter ein kühler Sommer folgen soll, so müßte ein ganzes Jahr hindurch der Südwestwind vorherrschen.

183 **Isothermische Linien.** Eine Tabelle wie die, welche auf Seite 471 bis 475 steht, enthält eine Masse von Elementen, aus welchen man die Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche ableiten kann. Jedenfalls sieht man aus einer solchen Tabelle schon, daß nicht alle auf demselben Breitengrade liegenden Orte gleiche mittlere Temperatur haben. So ist z. B. die mittlere Jahreswärme am Nordcap — 0,1°, während Nain auf der Küste Labrador eine mittlere Jahreswärme von — 3,6° hat, obgleich Labrador 14° südlicher liegt als das Nordcap. Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien möglich gemacht, durch welche er alle solche Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben. Seine Abhandlung über die Isothermen und die Verthei-

lung der Wärme auf der Erde erschien im Jahre 1817 im 3. Bande der Memoires de la societé d'Arcueil.

Denken wir uns z. B., daß ein Reisender, von Paris ausgehend, eine Reise um die Erde in der Weise macht, daß er alle Orte der nördlichen Halbkugel besucht, welche dieselbe mittlere Jahreswärme haben wie Paris, nämlich 10,8^{0}, so wird der Weg, den er auf diese Weise zurücklegt, eine Linie gleicher mittlerer Jahreswärme, also eine isotherme Linie seyn; diese Linie fällt aber nicht mit dem Breitengrade von Paris zusammen, sie ist unregelmäßig und gekrümmt, d. h. sie geht durch Orte, welche eine ganz andere Breite haben als Paris.

Humboldt's Abhandlung enthält eine Tabelle von 60 Orten, für welche die mittlere Temperatur durch wenigstens 8000 Beobachtungen ermittelt worden war, und nach diesen legte er seine Isothermen. Seit den letzten 20 Jahren sind nun durch zahlreiche Beobachtungen die klimatischen Verhältnisse vieler Orte genauer ermittelt worden, ohne daß dadurch der Typus der großen Krümmungen der Isothermen, wie sie Humboldt damals bestimmt hatte, wesentlich verändert worden wäre.

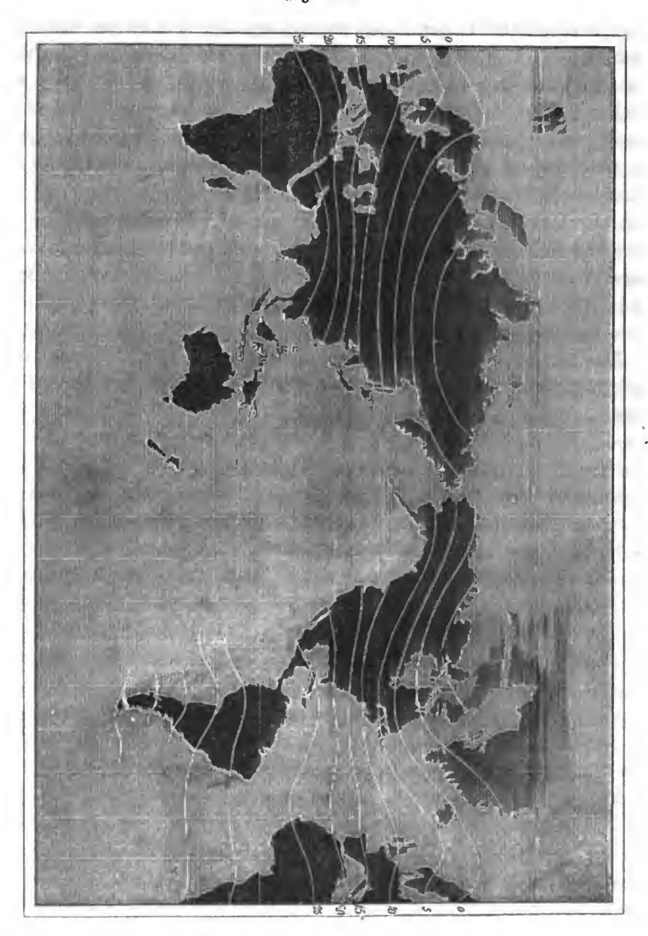
Fig. 386 stellt die Erdoberfläche in Merkators-Proportion mit den Isothermen von 5 zu 5 Grad dar. Am Erdäquator ist die mittlere Temperatur der Meeresufer 27,5^{0}; auf der Westseite von Amerika und Afrika jedoch etwas geringer; im Innern der beiden Continente, besonders in Afrika, ist die mittlere Temperatur höher als an den Küsten, im Innern von Afrika steigt die mittlere Temperatur des Aequators über 29^{0}.

Der Wärmeäquator, d. h. die Linie, welche man erhält, wenn man die heißesten Punkte der verschiedenen Meridiane mit einander verbindet, fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen; die Gegenden, welche gerade unter dem Aequator liegen, sind also nicht immer die heißesten. Obgleich es gewiß zu seyn scheint, daß der Wärmeäquator größtentheils auf der nördlichen Halbkugel liegt, so fehlt es doch noch an zuverlässigen Beobachtungen, um seinen Lauf näher zu bezeichnen.

Die nördliche Isotherme von 25^{0} geht durch Verakruz, berührt die Südspitze von Florida, steigt dann noch etwas nach Norden, um sich nach der Westküste von Afrika zu senken; dann steigt sie wieder nach Norden, geht durch den nördlichen Theil des rothen Meeres und durch den persischen Meerbusen hindurch u. s. w.

Die Anschauung der Karte Fig. 386 erspart uns eine weitere Beschreibung des Laufes der Isothermen. Man sieht, daß ihre Krümmungen in der nördlichen Halbkugel um so bedeutender werden, je weiter man sich vom Aequator entfernt; die Isotherme von 0^{0} z. B. steigt von dem südlichen Ende der Küste von Labrador über Island nach dem Nordcap, um sich im Innern von Asien wieder bedeutend zu senken.

Fig. 386.



Da, wo sich die Isothermen am weitesten nach Süden herabsenken, bilden sie einen concaven, da, wo sie am höchsten nach Norden steigen, bilden sie einen converen Gipfel. Die südlichen Wendepunkte der Isothermen liegen im östlichen Nordamerika und im Innern von Asien, die nördlichen Wendepunkte dagegen liegen an den Westküsten von Europa und Amerika.

Brewster hat es sehr wahrscheinlich gemacht, daß der Nordpol nicht der kälteste Ort der nördlichen Hemisphäre ist, sondern daß die Isothermen in der Nähe des Pols zwei getrennte geschlossene Kurven bilden, deren Mittelpunkte er Kältepole nennt. In der That deutet auch der Lauf der Isothermen von — 15° darauf hin; in einer nach der Polarproportion gezeichneten Karte würde die Lage der Kältepole noch deutlicher vortreten. Der eine Kältepol liegt über dem asiatischen, der andere über dem nordamerikanischen Continente; daher denn auch die Senkung der Isothermen in Nordamerika und Sibirien.

Mit der Entfernung vom Aequator nach dem Nordpole hin ist die Wärmeabnahme durchaus nicht der zunehmenden geographischen Breite proportional, wie man leicht aus folgender Zusammenstellung ersieht.

Zunahme der nördlichen Breite	Entsprechende Temperaturabnahme in der alten Welt	in der neuen Welt
0 bis 20°	2°	2°
20 » 30	4	6
30 » 40	4	7
40 » 50	7	9
50 » 60	5,5	7,4
von 0 bis 60°	22,5°	31,4°

»In beiden Welten,« sagt Humboldt, »liegt die Zone, in welcher die mittlere Temperatur am schnellsten abnimmt, zwischen den Parallelen von 40° und 45°. Dieser Umstand muß einen günstigen Einfluß auf die Bildung und den Kunstfleiß der Völker haben, welche in der Nähe dieses Gürtels wohnen. Es ist dies der Punkt, wo die Regionen des Weinstocks an die des Oliven- und Citronenbaums gränzen. Nirgends anders auf der Erde findet man von Süden nach Norden eine merklichere Abnahme der Temperaturen, nirgends folgen die Erzeugnisse des Pflanzenreichs und die mannigfaltigen Gegenstände des Ackerbaues schneller auf einander. Die große Verschiedenheit in den Erzeugnissen der Gränzländer belebt den Handel und vermehrt den Gewerbfleiß der ackerbauenden Völker.«

Die Temperaturverhältnisse der südlichen Hemisphäre sind uns bei weitem nicht so vollständig bekannt wie die der nördlichen, doch ist es wohl als

ausgemacht zu betrachten, daß die südliche Halbkugel kälter ist als die nördliche; dieser Unterschied möchte aber wohl geringer seyn, als man vielfach anzunehmen geneigt ist. Was vielleicht dazu beigetragen hat, die südliche Halbkugel für so bedeutend kälter zu halten als die nördliche, ist wohl der Umstand, daß man die Temperaturverhältnisse der südlichsten Theile von Amerika mit den Temperaturverhältnissen gleicher nördlicher Breiten in Europa verglichen hat, wo ja die Isothermen so außerordentlich weit nach Norden in die Höhe steigen; die Sache stellt sich ganz anders, wenn man die Gegenden von Südamerika mit solchen vergleicht, welche gleich weit vom Aequator an der Ostküste von Nordamerika liegen.

Die Nachrichten verschiedener Reisenden über dieselben Gegenden widersprechen sich oft geradezu, ein Beweis, wie sehr man sich hüten muß, aus vereinzelten Beobachtungen und Angaben einen Schluß auf die klimatischen Verhältnisse eines Landes zu machen. Cook konnte auf seiner zweiten Reise kaum den südlichen Polarkreis passiren, während später Weddel das Meer bis zum 74° frei fand. Dumont-Durville wurde bei seinen zweimaligen Versuchen, gegen den Südpol vorzudringen, am Polarkreise aufgehalten, James Roß hingegen fand bis 78° s. B. schiffbares Meer. Nach Forster sind die Berge an den Küsten von Neugeorgien (ungefähr 28° östlich vom Feuerlande) bis an das Meer mit Schnee bedeckt, nur an wenigen der Sonne ausgesetzten Stellen war der Boden frei, während Weddel, welcher die Insel später besuchte, Gras von 6 Decimeter Höhe fand. Ebenso weichen die Schilderungen des Feuerlandes ab; Bancks fand hier Birken (betula antarctica) von 9 bis 10 Meter Höhe und 6 bis 9 Decimeter Umfang. Bei Port Famine (mittlere Temp. 5°) sind die Küsten der Magellanstraße mit herrlichen Wäldern von fagus antarctica bedeckt, die von Papagayen bewohnt sind. Ein Beweis, daß die Winter in diesen Gegenden nicht sehr kalt seyn können, ist, daß die Eingeborenen ganz nackt gehen.

Das Klima der südlichen Spitze von Amerika ist ein solches, welches wir alsbald unter dem Namen des Seeklimas werden kennen lernen, d. h. der Sommer bleibt kühl, der Winter wird aber auch nicht streng; es ist dies leicht begreiflich, wenn man bedenkt, wie weit das nach Süden schmal zulaufende Südamerika in die ungeheure Wassermasse hineinragt.

Die Isothermen nähern sich an den Westküsten von Südamerika dem Aequator weit mehr als auf den Ostküsten, die Westküsten sind also verhältnißmäßig kälter; dies rührt von einer kalten Meeresströmung her, welche an den Westküsten von Südamerika her nach Norden zieht.

Daß die südliche Halbkugel etwas kälter ist als die nördliche, rührt wohl daher, daß auf der nördlichen das Land, auf der südlichen hingegen das Meer vorherrscht. Das feste Land erwärmt sich durch die Absorption der

Sonnenstrahlen weit mehr als das Meer, welches einen großen Theil dieser Strahlen reflectirt.

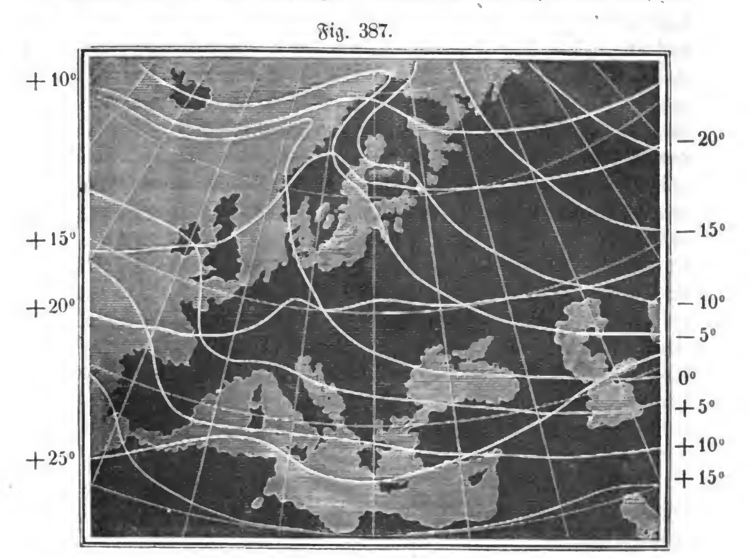
184 **Isotheren und Isochimenen.** Daß nicht alle Orte, welche auf demselben Parallelkreise liegen, gleiches Klima haben, ist bereits angeführt worden, es fragt sich aber nun, ob denn alle Orte, welche auf derselben Isotherme liegen, alle Orte also, für welche die mittlere Jahreswärme gleich ist, auch sonst gleiche klimatische Verhältnisse haben. Man braucht nur die Tabelle auf Seite 471 bis 475 anzusehen, um sich zu überzeugen, daß dies nicht der Fall ist. So haben z. B. Edinburg und Tübingen gleiche mittlere Jahreswärme von 8,6°, in Edinburg ist aber die mittlere Temperatur des Winters 3,6°, in Tübingen 0,2; Tübingen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Sommertemperatur für Tübingen 17,1, für Edinburg nur 14,4°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen. Ein ähnliches Verhältniß findet zwischen Prag und Dublin Statt; beide Orte haben eine gleiche mittlere Jahrestemperatur von 9,5°. Für Dublin ist aber die mittlere Temperatur des kältesten Monats 4,3, für Prag ist sie — 2,4°; dagegen ist die mittlere Temperatur des heißesten Monats für Dublin nur 16, für Prag aber 20,2°.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, reicht es also nicht hin, daß man weiß, welches seine mittlere Jahrestemperatur ist, man muß auch wissen, wie die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt ist. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte dadurch zeigen, daß man nach Humboldt's Beispiele an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommer- und Wintertemperatur beischreibt, was in unserer Isothermenkarte wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war; man sieht alsdann bald, daß gerade in der Nähe der convexen Gipfel der Isothermen auch die Differenzen zwischen der mittleren Sommer- und Wintertemperatur am geringsten sind; dieselben Ursachen also, welche machen, daß die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so hoch nach Norden steigen, machen auch die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer. Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Kurven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur, und diejenigen, welche gleiche mittlere Sommertemperatur haben. Die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Isochimenen, die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Isotheren. Fig. 387 (a. f. S.) stellt ein Kärtchen von Europa mit den Isotheren und den Isochimenen von 5 zu 5 Grad dar.

Diejenigen Kurven, deren entsprechende Temperaturen an der rechten

Seite der Karte stehen, sind die Isochimenen, die anderen sind die Isotheren. Man übersieht aus dieser Karte leicht, daß die Westküste des südlichen Theiles von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen

Fig. 387.



und Ungarn, Siebenbürgen, Bessarabien und die Südspitze der Halbinsel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber einen gleichen Sommer mit dem Ausflusse der Garonne, und in der Krim ist der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 5°, mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel und gleiche mittlere Sommerwärme mit Drontheim und Finnland.

Die Isothere von 20° geht von dem Ausflusse der Garonne ungefähr über Straßburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosacken und geht etwas nördlich vom Caspischen Meere vorbei; wie ungleich ist aber die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 5°, in Böhmen 0°, in der Ukraine — 5° und etwas nördlich vom Caspischen Meere gar — 10°.

Ursachen der Inflexion der Isothermen. Obgleich wir im Stande sind, im Allgemeinen die Ursachen anzugeben, welche die Abweichung der Isothermen an den Parallelkreisen bedingen, so kennen wir doch die hier 185

mitwirkenden störenden Elemente viel zu wenig, um die Gestalt der Isothermen aus theoretischen Betrachtungen abzuleiten.

Die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche veranlaßt eine ungleiche Erwärmung an verschiedenen Stellen, sie bedingt großentheils die Richtung der Luft- und Meerströmungen, durch welche entweder die höhere Temperatur der Tropen nach den Polen hin oder umgekehrt die Kälte der Polarmeere dem Aequator genähert wird; die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen an irgend einem Orte der Erde hervorzubringen im Stande ist, hängt von der Configuration des Landes, von der Beschaffenheit des Bodens ab, sie wird durch die Richtung der herrschenden Winde, durch Gebirgszüge modificirt, die klimatischen Verhältnisse einer Gegend sind also das Resultat mannigfacher Ursachen, welche sich theils combiniren, theils gegenseitig modificiren, und welche bald mehr allgemeiner, bald mehr localer Natur sind, welche bald direct, bald indirect wirken. »Die physische Geographie,« sagt Humboldt, »hat ihre numerischen Elemente, wie das Weltsystem, und wir werden in der Kenntniß dieser Elemente in dem Maaße fortschreiten, als wir die Thatsachen besser benutzen lernen, um in ihnen die allgemeinen Gesetze mitten in dem Zusammenwirken der partiellen Störungen zu erkennen.«

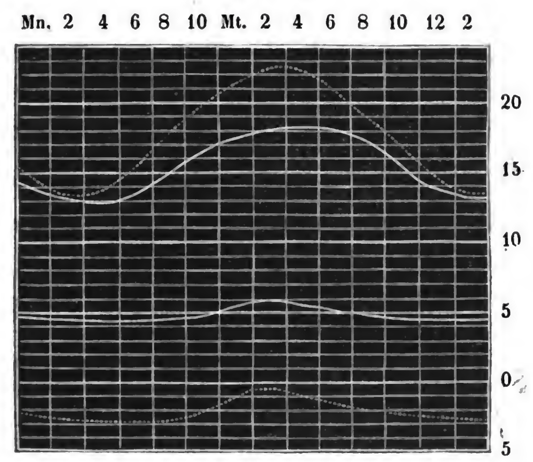
Ganz abgesehen davon, daß die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche die Richtung der Luft- und Meerströmungen modificirt, bewirkt sie auch direct eine ungleiche Wärmevertheilung, weil das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit, wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger, sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind ungleich geringer als in der Mitte der großen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch größer wird, daß an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen im Sommer mäßigt, als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

Inseln, welche mitten in einem großen Meere liegen, die Küsten und namentlich Halbinseln werden das weniger veränderliche Seeklima theilen, während die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintertemperatur um so größer sind, je weiter man sich von den Küsten entfernt. Schon in der vorigen Nummer wurden Beispiele angeführt, welche zeigen, wie bei gleicher mittlerer Jahreswärme die Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen

Jahreszeiten oft sehr ungleich ist; wie an Orten, welche sich eines Küstenklimas erfreuen, die Temperaturschwankungen weit geringer sind als für solche Orte, welche mitten im Lande liegen.

Die Fig. 388 zeigt nicht allein, wie die täglichen Variationen des Thermometers für Leith (Seeklima) geringer sind als für Halle (Continentalklima), sondern auch, daß die Temperaturen des heißesten und kältesten Monats für Leith näher beisammenliegen als für Halle.

Fig. 388.



Noch weit größere Unterschiede zwischen Land- und Seeklima ergeben sich, wenn man die Temperaturverhältnisse der Westküsten von Europa mit denen des nördlichen Asiens vergleicht. Um das Verhältniß der mittleren Jahreswärme zu der Vertheilung der Wärme leicht übersehen zu können, ist in den folgenden der Tabelle Seite 471 entnommenen Beispielen die mittlere Jahreswärme vor, die mittlere Sommertemperatur über, die mittlere Wintertemperatur unter einen Horizontalstrich gesetzt.

Küstenklima:

Nordcap . . .	0,1	$\frac{6,4}{-4,6}$
Reikiavig . . .	4,0	$\frac{12,0}{-1,6}$

Continentalklima:

Jakuzk . . .	— 9,7	$\frac{17,2}{-38,9}$
Irkuzk . . .	— 0,2	$\frac{15,9}{-17,6}$
Moskau . .	3,6	$\frac{16,8}{-10,3}$

Das Klima der Westküsten von Europa ist ein beständiges, das Klima des östlichen Europa's und des nördlichen Asiens dagegen ist ein excessives, wie es Buffon nennt.

Welchen Einfluß solche klimatischen Verschiedenheiten auf die Vegetation ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakuzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 9,7° ist, die mittlere Wintertemperatur aber — 38,9° beträgt, wird während des kurzen, aber heißen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuß beständig gefroren bleibt, während auf der Insel Island, bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken ist, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, sie zur Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe so kräftig wie in Portugal, auf den Küsten von Devonshire überwintert die camellia japonica und die Fuchsia coccinea im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte vertragen kann, aber eines heißen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern sollen. In Astrachan, welches mit dem Nordcap gleiche Winterkälte hat, reifen die herrlichsten Trauben. Ungarn bringt ausgezeichneten Wein hervor, obgleich seine Winter kälter sind als im nördlichsten Schottlande, wo kein Obstbaum mehr gedeiht, ja selbst kälter als auf den Faroerinseln, wo auch die Buche und die Eiche nicht mehr fortkommt.

Ueberall, wo die mittlere Jahreswärme unter 17° ist, findet das Erwachen der Natur im Frühlinge in demjenigen Monate Statt, dessen mittlere Temperatur 6 bis 8° beträgt. Der Pfirsichbaum blüht, wenn die mittlere Temperatur eines Monats 5,5°, der Pflaumenbaum, wenn sie 8,2° erreicht. Die Birke schlägt bei einer mittleren Monatstemperatur von 11° aus; in Rom findet dies im März, in Paris anfangs Mai, in Upsala in der Mitte Juni Statt; auf dem Nordcap kommt die Birke nicht mehr fort, weil die mittlere Temperatur des heißesten Monats nur 8,1° beträgt.

Der mildernde Einfluß des Meeres wird auf ein Land verhältnißmäßig zu seiner Oberfläche um so bedeutender seyn, je größer der meerumspülte Umfang desselben ist. Je zerrissener die Küsten eines Landes sind, d. h. je mehr Halbinseln in das Meer, und je tiefer bedeutende Meerbusen in das Land hineinragen, desto gleichmäßiger wird sein Klima seyn. Europa verdankt seine vortheilhaften klimatischen Verhältnisse großentheils seiner eigenthümlichen Configuration.

Der eben besprochene Einfluß des Meeres ist mehr localer Natur, er bewirkt eine gleichmäßigere Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen

Jahreszeiten, er trägt aber weniger zur Erhöhung oder Erniedrigung der mittleren Jahrestemperatur bei. Die Krümmung der Isothermen ist nicht eine directe, sondern eine secundäre Wirkung der ungleichen Vertheilung von Wasser und Land, insofern dadurch die Luft- und Meeresströmungen modificirt werden.

In der nördlichen gemäßigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluß der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, daß die Westküsten der großen Continente wärmer sind als die Ostküsten, daß die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents ist, und an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Innern von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ein zweiter Umstand, welchem Europa sein verhältnißmäßig warmes Klima verdankt, ist der, daß sich im Süden von Europa, in der Aequatorialzone, nicht ein Meer, sondern ein ausgebreitetes Land, nämlich Afrika, befindet, dessen großentheils kahler und sandiger Boden unter dem Einflusse der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen außerordentlich heiß wird. Ein warmer Luftstrom steigt beständig von den glühendheißen Sandwüsten in die Höhe, um sich dann in Europa wieder herabzusenken.

Endlich trägt eine unter dem Namen des Golfstroms bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stroms ist im mexicanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 31° erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexicanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hin zu wenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Südwestwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, daß man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heißen Zone Amerika's wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 10,7 bis 9° sinkt. Durch den Einfluß dieses Golfstroms ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareises nicht

die europäischen Küsten, so daß man mitten im Winter vom Nordcap bis zur Südspitze von Spitzbergen fahren kann. Sabine fand zwischen dem 65. und 70. Breitengrade die mittlere Temperatur des atlantischen Oceans an der Oberfläche 5,5°, während bei gleicher Breite die mittlere Temperatur des europäischen Continents schon unter dem Gefrierpunkte ist.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im Süden von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden Ländermassen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heiße Zone hinein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrikanischen Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem innern und nördlichen Asien zuführen könnten, werden aber noch durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht werden, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergränze des Polareises, und die Sommergränze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; daß aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muß, ist klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Innern und an den Ostküsten von Nordamerika rührt zum Theil daher, daß die Südwestwinde hier nicht mehr Seewinde, sondern Landwinde sind und deshalb hier nicht mehr den mildernden Einfluß ausüben können wie auf den Westküsten. Während die europäischen Küsten von wärmerem Wasser bespült sind, ziehen sich an den Ostküsten von Nordamerika kalte Meerströmungen von Norden nach Süden. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbay kommenden Strömungen, um an der Küste Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Golfstrom zu ergießen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers, größtentheils aber durch die schwimmenden Eisberge in die südlicheren Gegenden, und so ist diese Strömung

ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

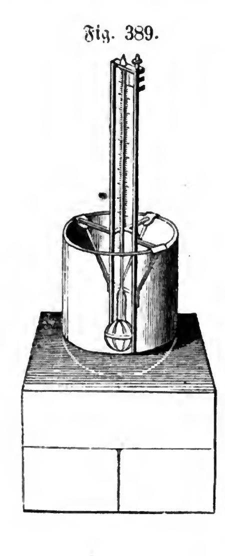
Temperatur des Bodens. Wir haben bisher nur immer die Temperatur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden seyn kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heißer, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 50 bis 60°. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direct treffen können, die Pflanzen selbst binden gewissermaßen eine große Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber, wie wir bald näher sehen werden, wenn wir die Thaubildung betrachten, bei ihrem großen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, daß die Temperatur des Grases oft 6 bis 9 Grad unter die der Luft sinkt. Im Innern der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt. 186

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer seyn als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden schon bei einer Tiefe von 6 Decimetern die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer noch größern Tiefe verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so daß hier beständig eine Temperatur herrscht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Seit 1671 hatte Cassini bemerkt, daß die Temperatur der Keller des Observatoriums zu Paris während des ganzen Jahres sich nicht ändert. Im Jahre 1730 machte Lahire dieselbe Beobachtung. Der Graf Cassini, Mitglied der Akademie der Wissenschaften, übersah zuerst die große Wichtigkeit dieser Erscheinung, im Jahre 1771 fing er an, sie durch eine Reihe von Versuchen näher zu untersuchen, und im Jahre 1783 stellte er gemeinschaftlich mit Lavoisier in den Kellern des Observatoriums einen sehr empfindlichen Apparat auf, welcher entscheidende Resultate liefern mußte. Dieser Apparat, welcher noch jetzt daselbst aufgestellt ist, hat folgende Einrichtung.

Auf dem Boden des Kellers, in einer Tiefe von 27,6 Metern erhebt sich ein massiver Steinblock, Fig. 389, von 1,3 Metern Höhe, auf welchem ein mit feinem Sande gefülltes Glasgefäß steht; in diesem Sande steckt die Kugel eines Thermometers, dessen Theilung auf Glas geätzt ist. Das Thermometer ist von Lavoisier selbst construirt und mit wohl gereinigtem Quecksilber gefüllt; seine Kugel hat 7 Centimeter im Durchmesser, und die Röhre ist sehr fein, so daß ein Grad eine Länge von ungefähr 95 Millimetern einnimmt, daß also $^1/_{100}$ Grad noch fast eine Länge von 1^{mm} hat; man kann demnach noch die Hälfte von $^1/_{100}$ Grad ablesen. Das Thermometer geht nur bis auf 16°, es hat aber oben ein kleines Behälter, in welches das Quecksilber hineinsteigen kann, wenn etwa die Temperatur über 16° steigen sollte.

Fig. 389.



Dieses Thermometer zeigt nun eine constante Temperatur von 11,82°, und diese Temperatur hat sich seit einem halben Jahrhundert nicht geändert. Während dieser ganzen Zeit ist es nie um $^{25}/_{100}$ Grad von dieser Temperatur von 11,82° abgewichen, und man konnte nachweisen, daß diese Abweichungen wahrscheinlich durch zufällige Luftströmungen herbeigeführt worden waren, welche durch die Arbeiten der Steinbrecher von Paris veranlaßt wurden.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, ist nicht in allen Gegenden dieselbe; sie hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vorzüglich aber auch von der Größe des Temperaturunterschiedes der heißesten und kältesten Jahreszeit ab. In der heißen Zone Amerika's fand Boussignault schon in einer Tiefe von 5 bis 6 Decimetern eine constante Temperatur, weil hier die Wärme ziemlich gleichförmig über die verschiedenen Zeiten des Jahres verbreitet ist.

Wie mit zunehmender Tiefe die jährlichen Veränderungen der Temperatur abnehmen, übersieht man aus folgenden Resultaten, welche die zu Brüssel in dieser Beziehung von 1834 bis 1837 angestellten Versuche geliefert haben.

Tiefe.	Schwankungen der Temperatur im Laufe eines Jahres.
0,19m	13,28°
0,45	12,44
0,75	11,35
1,00	10,58
1,95	7,59
3,90	4,49
7,80	1,13.

Vergleicht man die Beobachtungen von Paris, Straßburg, Zürich und Brüssel, so ergiebt sich, daß die jährlichen Schwankungen ungefähr in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden.

Da die Wärme nur allmälig von der Oberfläche in die Tiefe eindringt, so ist klar, daß in der Tiefe das Maximum der Temperatur später erreicht wird als in der Atmosphäre, wie dies auch folgende von Forbes in Edinburg in verschiedenen Bodenarten angestellte Versuche bestätigen.

Bodenart.	Jährliche Temperaturschwankung in einer Tiefe von				Zeitpunkt des Temperaturmaximums in einer Tiefe von			
	1m	1,9m	3,9m	7,8m	1m	1,9m	3,9m	7,8m
Trapp . .	10,53°	6,61°	3,5°	0,80°	6. Aug.	2. Sept.	17. Oct.	8. Jan.
Sand . .	11,23	8,30	4,19	1,16	31. Juli	24. Aug.	7. Oct.	30. Dec.
Sandstein	9,58	7,72	5,22	2,28	5. Aug.	19. Aug.	11. Sept.	11. Nov.

In solchen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter dem Gefrierpunkte ist, muß in einer bestimmten Tiefe der Boden stets gefroren seyn. So ist z. B. zu Jakuzk, dessen mittlere Jahrestemperatur —9,7° ist, wie schon oben erwähnt wurde, troß der bedeutenden Sommerwärme in einiger Tiefe der Boden beständig gefroren. In der Hoffnung, Wasser zu finden, legte Ermann hier einen Brunnen an, fand aber in einer Tiefe von 50 Fuß noch eine Temperatur von — 7,5°; dieser Brunnen wurde später durch Schergin bis auf 358 Fuß vertieft. Folgendes sind die Temperaturen des Bodens in verschiedenen Tiefen:

15,2m	— 7,5°
23,5	— 6,9
36,3	— 5,0
116,5	— 0,6.

Die stationäre Temperatur des Bodens wächst also mit zunehmender Tiefe. Dasselbe Resultat gaben auch an anderen Orten die Temperaturbestimmungen des Bodens in großen Tiefen, die man in tiefen Schachten und in artesischen Brunnen gemacht hat. Im Durchschnitt wächst die Temperatur für eine jedesmalige Vertiefung von 31 bis 32 Metern um 1°.

187 **Quellentemperatur.** Die meisten wasserreichen Quellen haben eine Temperatur, welche sich in den verschiedenen Jahreszeiten nur sehr wenig ändert; in unserer Hemisphäre erreichen sie meistens ihre höchste Temperatur im September, die niedrigste im März; die Differenz ihrer höchsten und ihrer niedrigsten Temperatur beträgt in der Regel nur 1 bis 2°. Die mittlere Temperatur der Quellen ist, wie die Temperatur der Erdschichten, aus welchen sie kommen, etwas höher als die mittlere Temperatur der Luft; für höhere Breiten steigt dieser Ueberschuß, wie Wahlenberg gezeigt hat, auf 3 bis 4°; dagegen machen es einige Beobachtungen, welche in der heißen Zone gemacht wurden, wahrscheinlich, daß dort die mittlere Quellentemperatur etwas niedriger ist als die Luft.

Quellen, welche aus größeren Tiefen kommen, haben eine weit höhere Temperatur, wie dies bei vielen Salzquellen und sonstigen Mineralquellen der Fall ist. Das Wasser mancher Quellen hat fast die Temperatur des Siedpunktes.

188 **Temperatur der Seen und Flüsse.** In den Seen erleiden die oberen Wasserschichten ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen; sie können im Winter zufrieren, während sie im Sommer oft eine Temperatur von 20 bis 25° erreichen; in der Tiefe findet dies jedoch nicht Statt. Saussure hat in dieser Beziehung die meisten Seen der Schweiz untersucht und die merkwürdige Thatsache bestätigt, daß in großen Tiefen die Temperatur der Seen ungefähr 5° beträgt.

Im Sommer wirken zwei Ursachen, um die Temperatur der oberen Wasserschichten zu erhöhen; die warme Luft streicht über den Wasserspiegel hin, und die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen werden, indem sie mehr oder weniger tief in das Wasser eindringen, von demselben absorbirt. Die erwärmten Schichten mischen sich durch die Wellenbewegung, sie mischen sich aber nicht mit den Gewässern der Tiefe, weil sie wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes oben schwimmen und weil selbst die heftigste Wellenbewegung doch nur auf eine geringe Tiefe merklich ist. Im Sommer und im Herbst muß also die Temperatur des Wassers in der Tiefe niedriger seyn als an der Oberfläche.

Im Winter erkalten die oberen Wasserschichten, weil sie mit der kalten Luft in Berührung sind und weil sie namentlich in der Nacht ihre Wärme ausstrahlen. Die erkaltende Schicht wird dichter, sie sinkt nieder und mischt sich mit dem wärmeren Wasser der tieferen Schichten; sobald sie sinkt, wird sie durch eine andere ersetzt, welche ebenfalls erkaltet und niedersinkt u. s. w.

Wenn das Wasser kein Dichtigkeitsmaximum hätte, so würden auch im Winter die tiefsten Schichten die kältesten seyn, die Oberfläche könnte also nicht eher die Temperatur von 0° annehmen, als bis die ganze Wassermasse bis auf den Boden eben so weit erkaltet wäre, und die Folge davon würde seyn, daß die Seen bis auf den Grund zufrieren müßten. Weil das Wasser aber ein Dichtigkeitsmaximum hat, ist der Hergang ein anderer. Sobald die obern Wasserschichten die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums erreicht haben, sinken sie nieder, andere Wassertheilchen treten an ihre Stelle, und so geht es fort, bis die ganze Wassermasse diese Temperatur hat. Wenn nun, sobald dies der Fall ist, die Kälte noch fortdauert, so wird die obere Wasserschicht durch ferneres Erkalten leichter; sie wird also fort und fort erkalten können, ohne niederzusinken; nun nimmt die Temperatur also mit der Tiefe zu bis zu 4,1°. Aus diesem Grunde findet auch die Eisbildung auf der Oberfläche Statt, die Dicke der Eisschicht kann nur sehr langsam zunehmen und nie eine bedeutende Dicke erlangen.

Diese Betrachtung zeigt uns auch, daß ruhige und sehr tiefe Gewässer nur dann zufrieren können, wenn eine strenge Kälte längere Zeit anhält, denn die ganze Wassermasse, welche während des Sommers über 4,1° erwärmt worden ist, muß nach und nach an die Oberfläche steigen, um da ihren Wärmeüberschuß abzugeben; und wenn die wärmere Wassermasse eine Tiefe von 500 bis 600 Fuß hat, so ist klar, daß unter sonst gleichen Umständen eine weit längere Zeit nöthig ist, damit alle wärmeren Wassertheilchen der Reihe nach auf die Oberfläche steigen, um da bis zu 4,1° zu erkalten, als wenn die Tiefe nur 20 bis 30 Fuß betrüge. An den Ufern und über Bänken von bedeutender Ausdehnung, überhaupt an allen Stellen von geringererer Tiefe kann sich deshalb auch schon eine Eisdecke bilden und eine bedeutende Dicke erlangen, während an den tieferen Stellen die Oberfläche des Wassers vom Eise frei bleibt.

Es ist nun die Frage, bis zu welcher Tiefe die Wärme des Sommers eindringen kann? Bis jetzt hat man darüber nur sehr unvollständige Angaben. Nehmen wir z. B. an, die Sommerwärme wäre nur bis zu einer Tiefe von 500 Fuß merklich, so müßte ein 10,000 Fuß tiefer See eben so leicht zufrieren wie ein anderer, welcher nur 500 Fuß tief ist, denn bei dem ersteren hat ja alles Wasser, welches mehr als 500 Fuß unter dem Spiegel sich befindet, das ganze Jahr hindurch die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums; es kann also auf die Erscheinungen der oberen Wasserschichten in keiner Weise wirken.

Wenn vor dem Gefrieren einmal die ganze Wassermasse eines Sees die Temperatur von 4,1° haben muß, so muß dasselbe nach dem Aufthauen ebenfalls stattfinden, bevor die Temperatur der oberen Wasserschichten über die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums steigen kann.

In den Flüssen ist natürlich wegen der beständigen Bewegung, welche die Wasserschichten verschiedener Temperatur fortwährend mischt, die Vertheilung der Wärme weniger regelmäßig als in den Landseen. Das Gefrieren beginnt in der Regel am Ufer, doch beobachtet man auch häufig, daß sich die Eisschollen mitten im Strome bilden und, anfangs ganz klein, bald eine bedeutende Größe erlangen. Eine sehr auffallende Erscheinung ist die Bildung von Grundeis in den Flüssen; diese Eisbildung findet nicht auf der Oberfläche, sondern auf dem Boden Statt; wenn das am Boden gebildete Eis aufsteigt, so hebt es Steine und sonstige Gegenstände vom Boden mit in die Höhe; im Rhein werden oft die Ankerketten der Schiffbrücken durch das Grundeis in die Höhe gebracht.

Die wahrscheinlichste Erklärung des Grundeises hat Arago gegeben; seine Ansicht ist die, daß das Wasser oft unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden, daß die so stark erkalteten Wassertheilchen sogleich gefrieren, wenn sie, durch die Strömung niedergezogen, mit den festen Körpern auf dem Boden in Berührung kommen.

189 **Temperatur der Meere.** Von tüchtigen Reisenden sind die Aequatorialmeere und die Polarmeere befahren worden; überall haben sie über die Temperatur und die damit zusammenhängenden Erscheinungen zahlreiche Reihen von Beobachtungen gemacht, welche für die Wissenschaft von höchstem Interesse sind.

Auf dem Meere, in großen Entfernungen von den Küsten, sind die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur weit geringer als auf dem Lande. Auf dem Aequatorialmeere z. B. beträgt die Differenz des Maximums und des Minimums der Temperatur eines Tages höchstens 1 bis 2^0, während sie auf dem Lande 5 bis 6^0 beträgt; in der gemäßigten Zone, zwischen dem 25. und 50. Breitengrade, ist dieser Unterschied nur 2 bis 3^0, während er auf dem Lande sehr groß ist; in Paris beträgt er manchmal 12 bis 15^0. Das Minimum der Temperatur findet auch auf dem Meere kurz vor Sonnenaufgang Statt, die Zeit des Maximums soll aber nach einigen Beobachtern dem Mittage näher liegen als auf den Continenten.

Vergleicht man die Temperatur der Luft, welche auf den Meeren ruht, mit der der oberen Wasserschichten, so ergeben sich folgende Resultate.

In den Tropen ist in der heißesten Tageszeit die Luft wärmer als das Wasser; wenn man aber die Temperatur der Luft und des Wassers von 4 zu 4 Stunden bestimmt, wie es der Capitain Duperrey gethan hat, so ergiebt sich, daß im Durchschnitt die Temperatur der Luft niedriger ist als die des Wassers. Unter 1850 Beobachtungen, welche er gemacht hat, fand er 1371mal das Meer und nur 479mal die Luft wärmer.

In höheren Breiten, vom 25. bis zum 50 Grade ist die Luft nur selten, in den Polargegenden fast nie wärmer als die Oberfläche des Meeres.

Gehen wir nun zur Betrachtung der Temperatur des Meeres in verschiedenen Tiefen über.

In den Tropen nimmt die Temperatur der Meere mit der Tiefe ab, in den Polarmeeren dagegen nimmt sie mit der Tiefe zu.

Während in der heißen Zone die Temperatur der Meeresoberfläche 27° ist, sinkt dort die Temperatur des Wassers in der Tiefe unter + 4°. Die Beobachtungen, welche am Bord der Venus unter den Befehlen von Du-Petit-Thouars gemacht wurden, ergaben für die Temperatur der Tiefe in der heißen und gemäßigten Zone 3,2 bis 2,5°; unter 27° 47′ S. B. fand man z. B. im indischen Meere in einer Tiefe von 990 Faden die Temperatur 2,8°, während sie auf der Oberfläche 23,8° war; bei Penedo und S. Pedro 4° 23′ N. B. und 28° 26′ westlich von Paris an er Oberfläche 27°, in einer Tiefe von 1130 Faden aber 3,2°; Kotzebue fand in einer Tiefe von 525 Faden unter einer Breite von 32° 11′ die Temperatur des Wassers 2,5°.

Humboldt hat gezeigt, daß die Erkaltung der Meeresoberfläche während der Nacht nicht die Veranlassung der geringen Temperatur der Meerestiefen in den Tropen seyn kann und daß sie nur die Folge eines Meerstromes ist, welcher in der Tiefe die Gewässer der Pole dem Aequator zuführt; deshalb findet man auch in der Tiefe des mittelländischen Meeres, wo diese untere Meeresströmung nicht eindringen kann, keine so niedrigen Temperaturen.

Die Beobachtungen von Mulgrave, Scoresby, Roß und Parry geben das übereinstimmende Resultat, daß in den Polarmeeren die Temratur in der Tiefe höher ist als an der Oberfläche; in einer Tiefe von 700 Faden steigt die Temperatur des Wassers auf 2 bis 3°, während sie an der Oberfläche nicht über 0° war. Beechey dagegen fand in der Behringsstraße in einer Tiefe von 20 Faden die Temperatur des Wassers — 1,4°, während sie an der Oberfläche + 6,3° betrug; Beechey fand im Allgemeinen die Temperatur der Tiefe niedriger als die der Oberfläche.

Diese Widersprüche lassen sich noch nicht erklären, überhaupt ist man bis jetzt noch nicht im Stande, die Gesetze des Gleichgewichts der Meeresschichten so zu entwickeln, wie es bei dem süßen Wasser der Fall ist, weil die Dichtigkeit des Meerwassers nicht allein von seiner Temperatur, sondern auch von seinem Salzgehalte abhängt.

Durch den Salzgehalt des Wassers wird sowohl sein Gefrierpunkt als auch die Temperatur seines Dichtigkeitsmaximums erniedrigt. Despretz fand den Gefrierpunkt des Meerwassers (das Wasser, mit welchem er experimentirte, war von Freycinet in der Südsee geschöpft) bei — 2,55°, für die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums aber — 3,67°; das Dichtigkeitsmaximum findet also bei einer Temperatur Statt, welche unter der des

Gefrierpunktes liegt, es kann also nur beobachtet werden, wenn das Wasser bis unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne zuzufrieren. Despretz untersuchte den Gang der Ausdehnung des Meerwassers, indem er Thermometer damit construirte, und diese Versuchsmethode möchte wohl die einzige seyn, welche in diesem Falle ein zuverlässiges Resultat geben kann. Für die Physik der Meere kann jedoch dies Resultat keine Anwendung finden, indem wohl schwerlich eine bedeutende Wassermasse ihrer ganzen Ausdehnung nach unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden.

Beim Gefrieren des Meerwassers bildet sich reines Eis, während die Concentration des flüssigbleibenden Theiles zunimmt, die oberen Schichten nehmen also in den kalten Zonen aus zwei Gründen an Dichtigkeit zu, erstens wegen der Temperaturerniedrigung und zweitens wegen der bei der Eisbildung zunehmenden Concentration des Wassers; da aber die dichter gewordenen Wassertheilchen niedersinken müssen, so bleibt es noch immer unerklärlich, wie in den Polarmeeren die Temperatur des Wassers in der Tiefe zunehmen kann.

Sollte vielleicht dieselbe Ursache, welche veranlaßt, daß die Temperatur der festen Erdrinde mit wachsender Tiefe immer mehr zunimmt, auch eine Erwärmung des Meeres von seinem Boden aus veranlassen?

Wenn am Boden des Meeres eine solche Erwärmung stattfinden sollte, so könnte das erwärmte Wasser doch nicht bis zur Oberfläche des Meeres steigen, weil es, sich mit den an der Oberfläche erkalteten und niedersinkenden Wassertheilchen mischend, seine höhere Temperatur alsbald verliert.

Die Eisbildung in den Polarmeeren gehört zu den großartigsten Erscheinungen der Natur. Die Eismassen, denen man an den Küsten von Spitzbergen und Grönland begegnet, sind in der Regel 20 bis 25 Fuß dick; sie bilden ungeheure Ebenen, deren Gränzen man oft von den höchsten Masten der Schiffe nicht übersehen kann; es sind dies die sogenannten Eisfelder, deren Oberfläche manchmal 300 bis 400 Quadratmeilen beträgt. Die Oberfläche der Eisfelder ist oft vollkommen eben, oft aber auch uneben und schollig. Manchmal sieht man Erhebungen, gleichsam Säulen von einer Höhe von 20 bis 30 Fuß, welche einen sehr malerischen Anblick darbieten, indem sie bald die schönste bläulichgrüne Farbe zeigen, bald mit einer dicken Schneeschicht überdeckt sind.

Durch den Wellenschlag, vielleicht auch durch andere Ursachen, zerbersten diese Eisfelder oft plötzlich und zertheilen sich in Stücke von 100 bis 200 Quadratmeter Oberfläche. Diese Stücke werden oft durch einen schnellen Meeresstrom fortgeführt, und wenn sie einem entgegengesetzten Meeresstrome begegnen, welcher die Stücke eines andern Eisfeldes mit sich führt, so stoßen die Eismassen mit furchtbarem Krachen aneinander. Ein Schiff, welches das Unglück hat, zwischen solche Massen zu gerathen, kann der ungeheuren

Kraft nicht widerstehen, es wird förmlich zerquetscht. Man hat viele traurige Beispiele, daß Schiffe auf diese Weise zu Grunde gingen.

Wenn die Eismassen zum Theil bei diesem schrecklichen Zusammentreffen zerbersten, wenn sie gleichsam zerbröckelt werden, so nehmen andere an Masse zu und werden noch furchtbarer. Eisstücke, welche durch die Wogen gehoben werden, fallen über die anderen Eisblöcke her, und so entstehen wahre Eisberge, welche oft 10 bis 15 Meter über den Wasserspiegel emporragen. Da die Dicke des über das Wasser hervorragenden Theils 1/4 des untergetauchten beträgt, so sind solche Eisberge im Ganzen 55 bis 75 Meter hoch.

In der Baffinsbay findet man noch weit höhere Eisberge als in den grönländischen Meeren, sie ragen manchmal 30 bis 40 Meter über den Meeresspiegel hervor und haben also eine Totalhöhe von 150 bis 200 Metern. Man glaubt, daß sich diese Eisberge an den Küsten bilden, wo sie die Thäler versperren, welche in das Meer münden, und daß sie dann durch irgend eine Ursache losgerissen werden. In der That sieht man dort an den Küsten solche in einzelne Zacken zerrissenen Eisberge von herrlicher bläulicher Farbe und wunderbarer Höhe. Im Sommer, wenn das Eis durch die Wirkung der Sonnenstrahlen geschmolzen wird, strömt das Wasser von dem Kamme dieser Gebirge in ungeheuren Wasserfällen in das Meer herab. Es ist dies ein majestätisches Schauspiel, welches die Schiffer jedoch nur aus der Ferne betrachten, denn die gigantischen, hoch in die Lüfte ragenden Eiszacken und Bogen bersten plötzlich unter ungeheurem Krachen und stürzen in das Meer herab.

Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen. Die 190 Erwärmung der Luft hat zwei Ursachen; zunächst absorbirt sie einen Theil der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen; weil aber die Luft die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt als die Erdoberfläche, so ist auch die Erwärmung der Luft durch die Absorption der Wärmestrahlen ungleich geringer als die Erwärmung des Bodens; den bedeutendsten Antheil ihrer Wärme erhält die Atmosphäre von unten her.

Wäre die Luft keine elastische Flüssigkeit, bliebe die Dichtigkeit der Atmosphäre für alle Höhen dieselbe, so würden die am Boden erwärmten Luftschichten bis an die Gränze der Atmosphäre steigen, die obersten Schichten des Luftmeers, welches unsere Erde einhüllt, würden auch die wärmsten seyn. Weil sich aber die warmen Luftschichten bei ihrem Aufsteigen ausdehnen, so wird bei dieser Ausdehnung Wärme gebunden, ihre Temperatur muß sinken, und so kommt es, daß die höheren Luftschichten kälter sind als die tieferen.

Daß eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höhern

Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

Gay=Lussac fand bei seiner Luftfahrt im Durchschnitt eine Temperaturabnahme von 1° für eine Erhebung von 174 Toisen.

Auf hohen Bergen zeigt schon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an: je höher man steigt, desto mehr nimmt die Vegetation den Character kälterer Himmelsstriche an; am auffallendsten zeigt sich dieser Wechsel in den Tropen; besonders großartig erscheint er aber an den ungeheuren Gebirgen Südamerika's, wo man in einem Tage aus den Wäldern von Palmen und Bananen bis zu den Gränzen des ewigen Schnees aufsteigen kann.

Wie in der Andeskette und den mexicanischen Gebirgen die Temperatur mit der Höhe über der Meeresfläche abnimmt, übersieht man aus folgender von Humboldt gegebenen Tabelle.

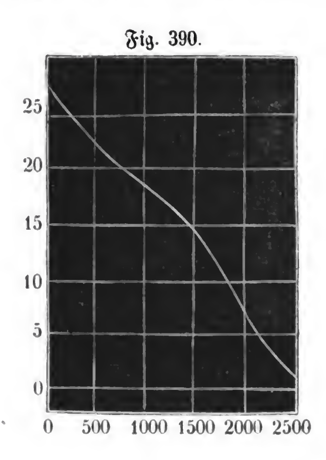
Höhe über der Meeresfläche.	Mittlere Temperatur.	
	Cordilleras de los Andes.	Mexicanische Gebirge.
0	27,5°	26,0
500	21,8	19,8
1000	18,0	18,0
1500	14,3	14,0
2000	7,0	7,5
2500	1,5	1,0

Da sich in der heißen Zone die Temperatur der Luft im Laufe eines Jahres nur wenig ändert, so kann man sich von der Temperatur in verschiedenen Höhen der Andeskette die beste Vorstellung machen, wenn man sie mit der mittleren Temperatur gewisser Monate in höheren Breiten vergleicht. So findet man in den Ebenen des Orinoko täglich eine Temperatur, welche noch um 4° höher ist als die mittlere Temperatur des Monats August in Palermo; zu Popayan, 911 Toisen über dem Meere, findet man die Temperatur der drei Sommermonate in Marseille; zu Quito die Temperatur der letzten Hälfte des Mai, in den Paramos (1800 T.) die Temperatur der ersten Hälfte des Aprils in Paris.

Untersuchen wir nun, nach welchem Gesetze die Temperatur abnimmt, so sehen wir bald, daß diese Abnahme durchaus nicht gleichförmig, d. h. nicht der Erhebung proportional ist. Erhebt man sich in den Cordilleras de los Andes vom Spiegel des Meeres um 500 Toisen, so sinkt die mittlere

Temperatur um 5,7°, bei fernerem Steigen ist die Temperaturabnahme weniger rasch, denn wenn man um 1000 Toisen weiter, nämlich von 500 bis 1500 T., steigt, so sinkt die mittlere Temperatur nur um 7,5°,

Fig. 390.



dann aber nimmt die Temperaturabnahme wieder rasch zu, indem sie schon für die nächsten 500 Toisen, von 1500 bis 2000, fast eben so viel, nämlich 7,3°, beträgt. Um das Gesetz der Temperaturabnahme recht anschaulich zu machen, ist es Fig. 390 graphisch dargestellt; die Abscissen sind den Erhebungen über dem Meeresspiegel, die Ordinaten den entsprechenden mittlern Temperaturen proportional; man sieht, wie die Temperatur anfangs rasch sinkt, wie die Temperaturkurve zwischen 500 bis 1500 Toisen weniger steil ist, wie sie sich aber alsdann wieder rasch senkt.

Das Gesetz der Temperaturabnahme, welches namentlich von der Configuration der Gebirgszüge abhängt, ist nicht für alle Gegenden dasselbe, so ist es z. B. schon für die mexicanischen Gebirge ein anderes.

Beim Aufsteigen in einem Luftballon muß man nothwendiger Weise ein ganz anderes Gesetz der Temperaturabnahme beobachten als auf hohen Bergen, weil die Gebirge, indem sie sich unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen erwärmen und des Nachts die Wärme ausstrahlen, nothwendig auf die Temperatur der Luftschichten einwirken müssen, in welche sie hineinragen. Dieser Einfluß wird um so mächtiger seyn, je bedeutender die Masse der Gebirge ist. Ein isolirter hoch in die Luft hineinragender Bergkegel oder ein Bergkamm wird die höheren Regionen der Atmosphäre nicht merklich erwärmen können, weil die Winde in jedem Augenblicke nur kalte

Luftmassen an ihm vorbeiführen; eine Hochebene von bedeutendem Umfange aber, welche sich unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen kann, indem sie von einer weniger dichten und weniger hohen Luftschicht bedeckt ist als die tieferen Gegenden, weil also die Sonnenstrahlen, welche eine Hochebene treffen, durch Absorption in der Luft weniger Wärme verloren haben als die, welche zur Tiefe gelangen, kann allerdings einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung der höheren Luftregionen ausüben, welche über ihr schweben und welche eben wegen der größeren Ausdehnung des Plateaus längere Zeit mit dem erwärmten Boden in Berührung bleiben.

Unter sonst gleichen Umständen muß es demnach auf Hochebenen wärmer seyn als auf isolirten Berggipfeln von gleicher Höhe. In den mexicanischen Gebirgen zwischen dem 18. und 19. Grade nördlicher Breite hört schon in einer Höhe von 4200 Metern alle phanerogamische Vegetation auf, die Schneegränze findet sich in einer Höhe von 4500 Metern, während bei gleicher südlicher Breite in Peru in größerer Höhe eine zahlreiche ackerbauende Bevölkerung wohnt; Potosi liegt 4166 Meter über dem Meeresspiegel, die Schneegränze liegt hier in einer Höhe von 5646 Metern. Dies erklärt sich nur durch die bedeutende Ausdehnung und Höhe der Hochebenen Peru's. Das Plateau, in dessen Mitte der Titicaca-See liegt, erhebt sich zwischen zwei Gebirgsketten bis zu einer Höhe von mehr als 3800 Metern; bei einer Breite von 60 geographischen Meilen erstreckt es sich vom 16. bis zum 20. Grade südlicher Breite, so daß es eine Oberfläche von 3600 Quadratmeilen hat. Die Plateaus der Andes in der Nähe des Aequators haben höchstens eine Oberfläche von 10 Quadratmeilen, und die Höhe der mexicanischen Hochebene beträgt nur 2000 bis 2500 Meter.

Ein anderes Beispiel bietet die Hochebene von Tibet und der chinesischen Tartarei. In einer Höhe von 3663 Metern wird hier in einer Breite von 32° noch Weizen mit Erfolg gebaut, die Cultur der Gerste steigt noch weit höher hinauf, während auf dem südlichen Abhange des Himalaya, in den Thälern des Ganges schon in einer Höhe don 2970 Metern alle Cultur aufhört; ja selbst unter dem Aequator auf den Plateaus von Quito und Caxamarca ist die Gränze der Cultur des Weizens 760 Meter tiefer als in den Hochebenen von Tibet.

Der Einfluß der Hochebenen auf die Temperatur der oberen Luftregionen ist in ihrer Mitte am bedeutendsten. Zu Santa Fe de Bogota, in der Mitte eines Plateaus, ist die mittlere Jahrestemperatur 14,5° während sie in gleicher Höhe zu Facatativa am Rande des Plateaus nur 13,1° ist.

Während sich die Hochebenen unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen stark erwärmen, indem diese nur eine weniger hohe und weniger dichte Lufschicht zu durchdringen haben, weil sie also weniger durch atmosphärische

Absorption geschwächt sind als die Strahlen, welche die tieferen Ebenen treffen, ist auch aus demselben Grunde der Wärmeverlust, den sie durch die nächtliche Strahlung erleiden, viel bedeutender als in der Tiefe. Auf der Hochebene von Caxamarca in Peru, wo in einer Höhe von 1660 Metern die mittlere Temperatur 16° ist, verfriert doch der Weizen häufig des Nachts. Humboldt sah hier bei Tage im Schatten das Thermometer auf 25° steigen, während es vor Sonnenaufgang nur 8° gezeigt hatte.

Auf den Hochebenen sind also die täglichen Schwankungen der Temperatur, und, wenn sie weiter vom Aequator entfernt liegen, auch die jährlichen viel größer als unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe; so hat z. B. die Hochebene von Tibet sehr heiße Sommer, obgleich die mittlere Jahrestemperatur ziemlich niedrig ist (die mittlere Temperatur des Monats October fand Turner 5,7°, und dies ist so ziemlich genau auch die mittlere Jahrestemperatur), weil dagegen der Winter um so kälter ist. Auf der Nordseite des Himalaya liegen die Culturgränzen und die Schneegränze nicht etwa deshalb höher als auf dem südlichen Abhange, weil die mittlere Jahreswärme höher, sondern weil bei der ungleichmäßigeren Wärmevertheilung der Sommer auf der nördlichen Abdachung heißer ist.

Während auf Hochebenen die periodischen Temperaturschwankungen größer sind als in der Tiefe, sind sie für isolirte Gebirge umgekehrt in der Höhe geringer, weil die isolirten Berge auf die Temperatur der höheren Luftregionen nur einen unbedeutenden Einfluß ausüben und weil die periodischen Temperaturveränderungen des Bodens in der Ebene, welche sich zunächst den unteren Luftschichten mittheilen, in der Höhe weniger merklich sind. So ist z. B. nach Humboldt's Angaben die Differenz zwischen dem täglichen Maximum und Minimum zu Cumana (10 Meter über dem Meeresspiegel) 11,5°, zu Quito aber 16°. Kämtz fand dagegen als Mittel aus einer Beobachtungsreihe von mehreren Wochen die Differenz des täglichen Maximums und Minimums auf dem Faulhorn gleich 3,8°, während in Zürich gleichzeitig diese Differenz 9,5° war. Auf dem Gipfel des Faulhorns sind also die täglichen Schwankungen geringer, auf dem Plateau von Quito aber größer als in der Tiefe.

Da der tägliche Gang der Wärme auf den Höhen ein anderer ist als in der Tiefe, so ist auch die Differenz der gleichzeitigen Temperaturen an der höheren und an der tieferen Station nicht zu allen Stunden dieselbe.

Auch der jährliche Gang der Wärme ist in der Höhe ein anderer, folglich wird auch der Unterschied der mittleren Temperaturen zweier ungleich hohen Stationen in verschiedenen Monaten nicht derselbe seyn. Aus einer 20jährigen Reihe von Beobachtungen, die gleichzeitig auf dem St. Bernhard und in Genf angestellt wurden, ergaben sich für die Temperaturdifferenz der beiden Orte in den verschiedenen Monaten folgende Werthe:

Monate.	Temperaturdifferenz.	Höhe, um welche man sich erheben muß, damit die Temperatur um 1°R. sinkt.
Januar	6,64° R.	970 Par. F.
Februar	7,74	832
März	8,80	731
April	9,52	676
Mai	9,30	692
Juni	9,46	680
Juli	9,55	674
August	9,67	702
September	8,74	736
October	8,32	773
November	7,53	855
December	7,68	837
Mittel	8,54	753

Wenn die Temperaturabnahme gleichförmig wäre, so würde man leicht die Höhe finden, um welche man sich erheben muß, damit die Temperatur um 1° sinkt, wenn man mit der Temperaturdifferenz der beiden Stationen in den Höhenunterschied derselben dividirt; für unser Beispiel beträgt diese Höhendifferenz 6435 Par. Fuß; da aber die Temperaturdifferenz beider Orte im Durchschnitt 8,54° R. ist, so ergiebt sich als Mittel für die Höhe, um welche man in den Alpen steigen muß, damit die Temperatur um 1° sinkt, $\frac{6435}{8,54} = 743' = 125$ Toisen oder 100 Toisen für 1° C. Auf ähnliche Weise sind alle Zahlen der letzten Columne der obigen Tabelle berechnet.

Während die Vergleichung der Temperaturen von Genf und St. Bernhard im Durchschnitt eine Erhebung von 100 Toisen oder 195 Metern für eine Temperaturerniedrigung von 1° C. geben, erhält man aus der Vergleichung der Temperatur anderer Orte, die in verschiedener Höhe in den Alpen oder in der Nähe derselben liegen, im Durchschnitt eine Erhebung von 173 Metern für eine Temperaturerniedrigung von 1° C. Diese Differenz rührt wahrscheinlich daher, daß die Temperatur am Hospiz auf dem St. Bernhard durch den Einfluß der Südwinde, dem es besonders ausgesetzt ist, etwas erhöht wird.

Da Humboldt für die südamerikanischen Gebirge unter dem Aequator

eine Temperaturabnahme von 26° C. für eine Erhebung von 2500 Toisen fand, so ergiebt sich dort im Durchschnitt eine Erhebung von 96 Toisen oder 187 Metern für eine Temperaturabnahme von 1° C., auf den Plateaus aber eine Erhebung von 243 Metern für 1°.

Kennt man für eine Gegend die Höhendifferenz, welche einer Temperaturerniedrigung von 1° entspricht, so kann man aus der mittleren Temperatur eines höher gelegenen Ortes annähernd genau die mittlere Temperatur berechnen, welche sich unter sonst gleichen Umständen im Niveau des Meeres finden würde; dividirt man nämlich mit dem Höhenunterschiede, welcher einer Temperaturdifferenz von 1° entspricht, in die Höhe des Beobachtungsortes, so findet man, um wie viel Grade die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres höher seyn würde. Wir haben eben gesehen, daß in den Alpen durchschnittlich 100 Toisen einer Temperaturdifferenz von 1° C. entsprechen; nun aber ist das Hospiz auf dem St. Bernhard 1280 Toisen über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur ist also $\frac{1280}{100} = 12{,}8^0$ niedriger als am Meeresspiegel; da aber die mittlere Temperatur auf dem St. Bernhard — 1° ist, so ergiebt sich für die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres 11,8°.

Genf liegt 203 Toisen über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur 9,7° ist demnach $\frac{203}{100} = 2{,}03^0$ niedriger als sie seyn würde, wenn Genf im Niveau des Meeres läge; seine Temperatur würde also für diesen Fall $9{,}7 + 2{,}03 = 11{,}73^0$ betragen.

Die mittlere Temperatur der südöstlichen Schweiz, auf dem Meeresspiegel reducirt, wäre demnach 11,7 bis 11,8° C.

Die Isothermen auf der Karte Seite 459, so wie die Isotheren und Isochimenen auf der Karte Seite 403 sind so gezogen, wie diese Linien laufen würden, wenn alle Orte in der Höhe des Meeresspiegels lägen; die Temperatur der verschiedenen Orte ist also auf das Niveau des Meeres reducirt.

Die Gränze des ewigen Schnees liegt natürlich um so höher, je mehr man sich der heißen Zone nähert. Die Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden der Erde ist in folgender Tabelle zusammengestellt.

Gebirge.	Breite.	Untere Gränze des ewigen Schnees.	Mittlere Temperatur im Niveau des Meeres in gleicher Breite	
			des ganzen Jahres.	des Sommers.
Norwegen, Küste	71¼° N.	720m	0,2	6,4
Norwegen, im Innern	70—70¼°	1072	— 3,0	11,2
Island	65°	936	4,5	12,0
Norwegen, im Innern	60—62°	1560	4,2	16,3
Aldankette (Sibirien).	60° 55′	1364	. . . .	. . . .
Nördl. Ural.	59° 40′	1460	1,2	16,7
Kamschatka	56° 40′	1600	2,0	12,6
Altai	49¼—51°	2144	7,3°	16,8
Alpen	45¾—46°	2708	11,2	18,4
Kaukasus (Elborus)	43° 21′	3372	13,8	21,6
Pyrenäen	42½—43°	2728	15,7	24°,0
Aetna	37½°	2905	18,8	25,1
Nördl. Abhang } d. Himalaya	30¾—31°	5067	. . . .	. . . .
Südl. Abhang } d. Himalaya	. . . . .	3956	20,2	25,7
Mexico.	19—19¼°	4500	25	27,8
Abyssinien	13° 10′	4287	. . . .	. . . .
Sierra Nevada de Merida. .	8° 5′	4550	27,2	28,3
Vulkan v. Tolima	4° 46′	4670	. . . .	. . . .
Quito	0° 0′	4824	27,7	28,6
Oestliche } Cordilleras von Chili	14½—18° S.	4853	. . . .	. . . .
Westliche } Cordilleras von Chili		5646		
Chili, Andes d. Küsten	41—44°	1832	. . . .	. . . .
Magellansstraße.	53—54°	1130	5,4°	10°

Man glaubte sonst, daß sich die Gränze des ewigen Schnees stets in solchen Regionen finden müßte, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° ist. Wenn dies so wäre, so müßten alle Länder, deren mittlere Jahrestemperatur unter Null ist, beständig mit Schnee bedeckt seyn, während wir doch z. B. wissen, daß selbst zu Jakutzk, bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 9,7°, noch Cerealien gebaut werden.

Die Gränze, bis zu welcher selbst im Sommer der Schnee nicht wegschmilzt, kann also nicht ohne Weiteres aus der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes abgeleitet werden, sie hängt nicht sowohl von der mittleren

Jahreswärme, sondern vielmehr von der Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten ab.

In Jakuzk ist die mittlere Temperatur des heißesten Monats 20,3°. Bei einer solchen Wärme muß der Schnee wegschmelzen, der Winter mag noch so kalt gewesen seyn. Wenn zu Jakuzk bei unveränderter mittlerer Jahrestemperatur von — 9,7° die Wärme so vertheilt wäre, daß sie nur zwischen 0° und — 20° schwankte, so würde der Schnee ewig liegen bleiben.

Die mittlere Temperatur der Schneegränze kann also an Orten, welche ein sehr excessives Klima haben, sehr niedrig seyn; in solchen Gegenden aber, für welche die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer ist, wird die mittlere Jahrestemperatur der Luftwärme an der Gränze des ewigen Schnees höher seyn. Da nun zwischen den Wendekreisen die Schwankungen der Temperatur weit geringer sind als in den gemäßigten Zonen und in den Polargegenden, so wird auch die mittlere Jahrestemperatur der Luft an der Schneegränze in den Tropen weit höher seyn als in höheren Breiten.

Denken wir uns einen Ort, an welchem die Temperatur der Luft das ganze Jahr hindurch 0° betrüge, so könnte der Schnee, welcher hier fällt, unmöglich wegschmelzen, und man sieht leicht ein, daß, wenn die Temperatur eines Ortes nur um sehr wenige Grade schwankt, die mittlere Temperatur über 0° seyn muß, damit der gefallene Schnee vollkommen wegschmelzen kann, wenn man bedenkt, wie viel Wärme beim Schmelzen des Schnees gebunden wird. Es ist daher leicht zu begreifen, daß in den Tropen die mittlere Lufttemperatur an der Schneegränze über Null ist.

In den Tropen ist die mittlere Lufttemperatur der Schneegränze + 1,5°, während sie in Norwegen vom 60. bis 70. Breitengrade — 6° ist; in Sibirien ist sie natürlich noch niedriger.

Da die Schneegränze vorzugsweise von der Temperatur des heißesten Monats abhängt, so muß die Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden, für welche die mittlere Jahreswärme in der Ebene gleich ist, verschieden seyn, wenn die Vertheilung der Wärme an beiden Orten ungleich ist, wenn die eine Gegend ein Küstenklima, die andere aber ein Continentalklima hat. Bei gleicher mittlerer Jahreswärme in der Ebene liegt die Schneegränze für ein Küstenklima tiefer als für ein Continentalklima.

So hat z. B. Island und das Innere von Norwegen vom 60. bis 62. Grade fast ganz gleiche mittlere Jahreswärme, in Island ist aber die Sommerwärme geringer, und deshalb liegt auch die Schneegränze bedeutend (630ᵐ) tiefer.

Je mehr Schnee im Winter fällt, desto heißer muß es im Sommer werden, wenn er ganz wegschmelzen soll; da nun an den Küsten mehr Schnee fällt als im Innern der großen Continente, wo die Luft weit trock-

ner ist, so ist darin ein neuer Grund zu suchen, warum an den Küsten die Schneegränze verhältnißmäßig tiefer liegt als im Innern des Landes.

Die Pyrenäen und der Kaukasus liegen ungefähr in gleicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur sowohl als auch die mittlere Sommerwärme ist am Fuße der Pyrenäen höher als am Fuße des Kaukasus, und doch ist die Schneegränze am Kaukasus um 650 Meter höher als in den Pyrenäen, weil dort weit weniger Schnee fällt als hier.

Sehr auffallend erscheint es auch, daß die Schneegränze auf der nördlichen Abdachung des Himalaya um mehr als 1100 Meter höher liegt als am südlichen Abhange; es wird dies aber begreiflich, wenn man bedenkt, daß gerade die über dem indischen Ocean mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, an den südlichen Abhang des riesenhaften Gebirges anschlagend, dort ungeheure Massen von Regen in den niederen und von Schnee in den höheren Regionen absetzt, während aus der trocknen Luft auf der nördlichen Abdachung ungleich weniger Schnee herabfällt; außerdem aber schließt sich an die nördliche Abdachung die bedeutende Hochebene von Tibet an, während sich das Gebirge auf der Südseite rasch bis zum Spiegel des Meeres herabsenkt.

Das Tafelland von Tibet besteht eigentlich aus mehreren durch Gebirgsketten getrennten Hochebenen von außerordentlicher Trockenheit, auf welchen die Temperaturschwankungen außerordentlich groß sind; da die so felsigen und sandigen Hochebenen sich im Sommer durch die Absorption der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, wirken sie eben deshalb bedeutend, um die Schneegränze zu erhöhen.

Ein ähnlicher Unterschied zeigt sich zwischen den östlichen und westlichen Cordilleras von Chili. Nach den Messungen von Pentland ist die Schneegränze vom 14. bis zum 18. Breitengrade noch bedeutend höher als unter dem Aequator selbst, was offenbar nur von dem Einflusse der Hochebenen herrühren kann.

Die Gränze des Schnees steigt und sinkt mit den verschiedenen Jahreszeiten; diese Schwankung ist in der heißen Zone Amerika's sehr unbedeutend, sie beträgt nach Humboldt nur 80 bis 110 Meter; man darf jedoch die Gränze des Schnees nicht mit den Gränzen verwechseln, bis zu welchen noch von Zeit zu Zeit Schnee fällt und auch einige Zeit liegen bleibt. In den mexicanischen Gebirgen liegen die Gränzen, zwischen welchen die Schneegränze auf- und niedersteigt, schon bedeutend weiter, nämlich um 623 Meter, auseinander; dieser Unterschied ist leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, daß die mittlere Temperatur der drei wärmsten Monate in Mexico um 6°, in Quito aber nur 1° bis 2° mehr beträgt als die mittlere Temperatur der drei kältesten Monate.

Eine ganz eigenthümliche, den ewigen Schnee hoher Gebirge häufig begleitende Erscheinung sind die Gletscher. Möge es erlaubt seyn, die

treffliche Beschreibung der Alpengletscher hier wörtlich anzuführen, welche Kämtz in seinen »Vorlesungen über Meteorologie« gegeben hat.

»Betrachtet man ein größeres Gebirge, z. B. die Alpen, im Sommer von einem entfernten Standpunkte (Rigi oder Weißenstein bei Solothurn), so unterscheidet man deutlich in der Tiefe die Region der Cultur, darüber den Waldgürtel, späterhin die ausgedehnten Weiden und über diesen die Region des Schnees. Die untere Gränze desselben erscheint ziemlich scharf als horizontale Linie, nur an einzelnen Stellen ziehen sich von ihr unregelmäßige weiße Streifen bis zu bedeutender Tiefe herab; diese Streifen, welche deutlich in den Thälern liegen, sind die Gletscher.

»Wenn man den Gletscher näher betrachtet, so findet man, daß er ganz aus Eis, keineswegs aber aus Schnee besteht, und daß diese Masse oft rings von Getreidefeldern umgeben ist. Dieses Eis bildet aber nicht die zusammenhängenden durchsichtigen Massen, wie es uns das auf den Flüssen gebildete Eis zeigt, vielmehr läßt es sich mit der größten Leichtigkeit in Körner zerschlagen, welche einzeln in hohem Grade durchsichtig, aber von einander durch Zwischenräume getrennt sind. Dadurch, daß die ganze Eismasse nur aus solchen Körnern besteht, wird es uns möglich, mit Leichtigkeit auf den Gletschern zu gehen. In der Tiefe haben diese Körner etwa die Größe einer Wallnuß; so wie wir jedoch höher steigen, werden sie kleiner, bis sie in der Höhe von 8000 Fuß etwa die Größe von Erbsen haben. Die Oberfläche des Gletschers bildet hier nicht mehr die compacte Masse; bei schönem Sonnenschein sinkt man in sie wie in lockeren Sand ein; diese lockere Masse hat den Namen Firn, sie wird immer kleiner, und in den höchsten Regionen geht sie allmälig in Schnee über; selbst wenn die Oberfläche mit Firn bedeckt ist, treffen wir in der Tiefe einiger Zolle eigentlichen Schnee.

»Diese Firnmasse ist aus dem Schnee entstanden, und ich hatte im Jahre 1833 Gelegenheit, die Bildung derselben sehr deutlich zu verfolgen. Im August und noch mehr im September fielen auf dem Faulhorne ungeheure Scheemassen, an manchen Stellen lag er neben dem Wirthshause mehr als 6 Fuß hoch. Der Schnee selbst bestand entweder aus regelmäßigen Krystallen oder Spießen, welche scheinbar von dem Mittelpunkte einer Kugel nach allen Seiten ausliefen. Es folgte nun einige Zeit schönes heiteres Wetter; obgleich das Thermometer sich selbst bei Tage im Schatten wenig vom Gefrierpunkte entfernte, wirkte doch die Sonne mit ungeheurer Mächtigkeit auf den Schnee, dieser war am ersten Tage etwa bis zur Tiefe eines Zolls mit Wasser durchdrungen. Am folgenden Morgen hatte sich eine unregelmäßige glänzende Eisrinde gebildet, die sich jedoch mit Leichtigkeit eindrücken ließ. Kaum aber hatte die Sonne einige Zeit darauf gewirkt, so war der Zusammenhang der Theile verschwunden, und bis zur Dicke einiger Linien lagen auf der Oberfläche des eigentlichen Schnees durchsichtige

Eiskügelchen von der Größe der Hirsenkörner. Mehrere Tage wiederholte sich der Vorgang, aber dann war am Morgen die Eisrinde so fest, daß ich darauf stehen konnte; die Firnkörner lagen mehrere Zoll hoch über dem Schnee, dabei hatten sie an der Oberfläche die Größe kleiner Erbsen erlangt und wurden nach unten kleiner. Leider konnte ich den Vorgang nicht bis zu größerer Tiefe verfolgen, da neue Schneemassen die früheren bedeckten und nur eine Wiederholung des eben beschriebenen Processes zeigten.

» — — — Man denke sich in den Alpen zwei Berge von mehr als 8000 Fuß Höhe, zwischen denen ein Thal mit Schnelligkeit in die Tiefe stürzt. Die bedeutenden Schneemassen des Winters werden theils durch Winde, theils durch Lawinen in das Thal gestürzt; erst spät im Frühling wird die Wärme in der Höhe so bedeutend, daß die Sonne auf den Schnee einzuwirken vermag. Das durch Schmelzen gebildete Wasser dringt mit Schnelligkeit in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Krystallen und füllt diese abwechselnd mit kleinen Luftblasen ganz aus. Wenn es in der folgenden Nacht friert, eine Erscheinung, die sich in diesen Regionen den ganzen Sommer hindurch oft wiederholt, dann verbindet sich das Wasser mit den Schneeflocken, mit denen es in Berührung steht, letztere selbst werden in Körner von durchsichtigem Eise verwandelt, die vorhandenen Luftblasen sind die Ursache, daß die ganze Oberfläche sich nicht in eine compacte Masse verwandelt. Wiederholt sich am folgenden Tage die Einwirkung der Sonne, so wird die Rinde bald aufgelockert, es werden einige Körner geschmolzen, aber vorzugsweise die kleineren, welche sich in Wasser verwandeln, und dieses verbindet sich in der folgenden Nacht mit den noch übrig gebliebenen und vergrößert die Dimensionen derselben. War die im Winter angehäufte Schneemasse bedeutend und der nun folgende Sommer vielleicht nicht sehr warm, so wird sie nicht immer ganz geschmolzen, sondern nur in eine Firnmasse verwandelt, deren Größe durch den Schnee des nächsten Winters bedeutend vergrößert wird. Wiederholt sich der Vorgang mehrere Jahre, so entsteht ein neuer Gletscher, wie man dieses in den Alpen öfter beobachtet hat. Dabei nehmen nach und nach die Dimensionen der Eiskörner zu, und wenn auch noch immer die einzelnen derselben durch Luftbläschen getrennt bleiben, so greifen die unregelmäßigen Erhöhungen einiger so in die Vertiefungen zwischen anderen, daß das Ganze eine compacte Masse bildet. Doch bleibt dieser Körper nicht auf der Stelle, auf welcher er in dem engen Thale entstand. Stand er zuerst mit den Wänden desselben in Berührung, so wird der an den letzteren liegende Schnee bald weggeschmolzen, das von den Höhen herabkommende Wasser tritt stellenweise unter die Schnee- und Eismasse und zerstört hier und da die Basis derselben theils durch eigentliches Schmelzen, theils durch mechanisches Fortreißen. Das Ganze berührt nicht mehr allenthalben den Boden, Kanäle von unregel-

mäßiger Gestalt sind mit Wasser gefüllt, welches bald frei abfließt, bald durch losgerissene Eismassen sich selbst den Ausgang versperrt und nun einen Druck nach oben ausübt. Auch die obere Schneemasse sucht auf der häufig sehr geneigten Basis sich nach unten zu bewegen; so wird das auf einzelnen Füßen stehende Eis vielfach gedrängt, es entstehen Risse und Spalten, welche sich von oben nach unten erstrecken und in welche sich das Wasser stürzt, welches durch Einwirkung der Sonne auf der Oberfläche gebildet wird. Geschieht dieses erst, so wird die Basis noch mehr angegriffen, besonders scheint dieses dann der Fall zu seyn, wenn mehrere kalte Nächte folgen, wo das Wasser stellenweise gefriert, bei seiner Verwandlung in Eis sich ausdehnt und dadurch die schmalen Spalten wie ein eingetriebener Keil erweitert, während die zuerst genannten Ursachen besonders bei anhaltend warmem Wetter thätig sind. So arbeitet also Alles dahin, die Gletschermasse nach unten zu bewegen; zuerst wird sie in eine Menge einzelner Blöcke von größeren oder geringeren Dimensionen zerrissen, wobei sich ein donnerähnliches Getöse hören läßt, und diese Blöcke werden dann mit Leichtigkeit langsam fortgeschoben. Daher finden wir denn in den steilen Thälern diese ewigen Eismassen, während die begränzenden Bergwände mit kräftigen Wäldern und dem üppigsten Grün überzogen sind. Begreiflich aber wird es, daß diese Gletscher sich in ähnlich gebildeten Thälern desto mehr in die Tiefe erstrecken müssen, je höher die umliegenden Berge sich in die Region der Wolken erheben; hier sind die Schneemassen, welche durch Winde und Lawinen in die Tiefe geführt werden, größer, hier ist ferner der Druck des Schnees, so wie die Masse des unter dem Schnee wegfließenden Wassers bedeutender, die große Eismasse erfordert also längere Zeit zum gänzlichen Wegschmelzen, und so kann sie nach tiefer und wärmer liegenden Regionen kommen, ehe sie ganz verschwindet. Da das Eis am untern Ende der Gletscher eine große Reihe von Jahren hindurch die Wärme des Sommers, so wie die Kälte des Winters empfunden hat, so ist durch die häufige Wiederholung des partiellen Thauens und Gefrierens das Volumen der Krystalle so groß geworden, wie wir es unten beobachten.

»Da die Gletscher dem Gesagten zufolge nur locale Phänomene sind, da die Erfahrung ferner zeigt, daß ihr unteres Ende im Allgemeinen desto tiefer liegt, je höher die umgebenden Berge sind, so müssen wir sie bei der Bestimmung der Schneelinie ganz übersehen. Nur da, wo der Schnee auf kleinen Bergebenen und wenig geneigten Flächen noch am Ende des Sommers anfängt liegen zu bleiben, darf sie aufgesucht werden. — — —«

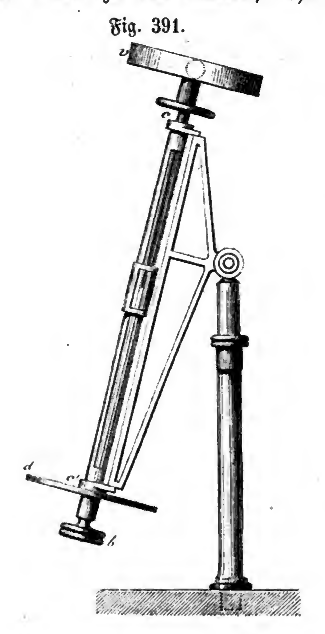
Wir haben bisher nur die Temperaturverhältnisse auf hohen Gebirgen selbst, aber nicht den Einfluß betrachtet, den diese Gebirge auf die benachbarten Ebenen ausüben. Dieser Einfluß ist aber unter Umständen sehr bedeutend; einen erwärmenden Einfluß üben sie durch die Reflexion der

Wärmestrahlen an den Bergabhängen und durch den Schutz aus, den sie oft gegen die herrschenden Winde gewähren; dagegen wirkt die Nähe hoher Gebirge abkühlend auf die Ebenen, indem sie das Niedersenken kalter Luftströmungen häufig verursachen und begünstigen. Dieser erkaltende Einfluß ist besonders merklich, wenn die Berghöhen mit Schnee bedeckt sind.

191 **Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre.** Wenn man mit Hülfe einer Sammellinse Zunder durch Concentration der Sonnenstrahlen anzünden will, so wird man einen großen Unterschied finden, je nachdem man den Versuch Mittags anstellt, wo die Sonne hoch am Himmel steht, oder des Abends, wenn sie ihrem Untergange nahe ist; während sich der Schwamm des Mittags leicht entzündet, geschieht dieses am Abend entweder nur sehr schwierig, oder gar nicht; die Intensität der von der Sonne zu uns kommenden Wärmestrahlen ist also in diesen beiden Fällen ebenso ungleich wie die Intensität der Lichtstrahlen; Abends können wir die rothgelbe Scheibe der untergehenden Sonne wohl ansehen, Mittags aber wird das Auge durch den Glanz der Sonnenstrahlen geblendet.

Dieser Unterschied in der Intensität der Licht- und Wärmestrahlen, welche von der Sonne zu uns kommen, rührt offenbar daher, daß der Weg, welchen die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurch zurückzulegen haben, bedeutend größer ist, wenn die Sonne dem Horizonte nahe steht; je größer aber der Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen, desto mehr Licht und Wärme wird absorbirt werden.

Fig. 391.



Um annähernd die Wärmeabsorption in der Atmosphäre zu bestimmen, hat Herschel ein Instrument construirt, welches er Heliometer genannt hat. Pouillet gab diesem Instrumente folgende vervollkommnete Einrichtung.

Das cylindrische Gefäß v, Fig. 391, ist aus dünnem Silberblech gemacht, sein Durchmesser beträgt ungefähr 1 Decimeter, seine Höhe 14

bis 15 Millimeter, so daß es ungefähr 100 Gramm Wasser aufnehmen kann. In dem Gefäße befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre durch einen das Gefäß verschließenden Kork in eine hohle Metallröhre hineinragt; diese Metallröhre geht durch zwei Hülsen bei c und c', so daß sie mit dem Gefäße v mittelst des Knopfes b beständig um ihre Axe gedreht werden kann; diese Umdrehung hat zum Zwecke, das Wasser im Gefäße v in beständiger Bewegung zu erhalten, damit sich die Wärme in demselben möglichst gleichförmig verbreitet.

Die obere Fläche des Gefäßes v ist mit Ruß sorgfältig geschwärzt. Die Scheibe d hat denselben Durchmesser wie das Gefäß v; richtet man also das Instrument so gegen die Sonne, daß der Schatten des Gefäßes v gerade auf die Scheibe d fällt, so kann man sicher seyn, daß die Sonnenstrahlen die vordere Fläche des Gefäßes rechtwinklig treffen.

Wenn die geschwärzte Oberfläche des Instrumentes rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so steigt die Temperatur des Wassers in v über die der Umgebung.

Wenn das Gefäß v sich erwärmt, so verliert es auch Wärme, theils durch Strahlung gegen den Himmelsraum, theils an die Umgebung. Wenn ein solcher Verlust nicht stattfände, so würde die durch den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung des Gefäßes v jedenfalls bedeutender seyn als die, welche man beobachtet; um aber auf die Wärme schließen zu können, welche dem Instrumente wirklich durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist deshalb an den beobachteten Temperaturerhöhungen eine Correction anzubringen. Der Versuch wird deshalb in folgender Weise angestellt.

Wenn das Wasser in dem Gefäße die Temperatur der umgebenden Luft hat, wird das Instrument nahe an dem Orte, wo man es den Sonnenstrahlen aussetzen will, im Schatten aufgestellt, und zwar so, daß die Wärme von der berußten Fläche frei gegen den Himmel ausstrahlen kann. Man beobachtet nun 4 Minuten lang die Erkaltung; in der folgenden Minute bringt man einen Schirm vor die schwarze Fläche und richtet dann den Apparat so, daß die Sonnenstrahlen rechtwinklig einfallen, wenn man am Ende der 5ten Minute den Schirm wegnimmt. Während der folgenden 5 Minuten beobachtet man die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, indem man das Wasser des Gefäßes v in beständiger Bewegung erhält; am Ende der 10ten Minute setzt man den Schirm wieder vor, zieht den Apparat an seine frühere Stelle zurück und beobachtet dann die während der folgenden 5 Minuten stattfindende Erkaltung.

Es sey g die in 5 Minuten durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, r und r' die Temperaturabnahme, welche der Apparat

in den 5 vorhergehenden und in den 5 folgenden Minuten erleidet, so ist die Temperaturerhöhung t, welche durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht seyn würde, wenn kein Wärmeverlust stattgefunden hätte,

$$t = g + \frac{r + r'}{2}.$$

Die folgende Tabelle enthält die Resultate von 5 Beobachtungsreihen, welche Pouillet mit dem Heliometer angestellt hat.

Beobachtungs-stunden.	Dicke der durchlaufenen Luftschicht.	Beobachtete Temperatur-erhöhung.	Berechnete Temperatur-erhöhung.	Unterschiede.
Am 28. Juni 1837.				
7 U. 30′ Morgens	1,860	3°80	3°69	+ 0,11
10 U. 30′ »	1,164	4,00	4,62	— 0,62
Mittag	1,107	4,70	4,70	0
1 U.	1,132	4,65	4,67	— 0,02
2	1,216	4,60	4,54	+ 0,06
3	1,370	»	4,32	»
4	1,648	4,00	3,95	+ 0,05
5	2,151	»	3,36	»
6	3,165	2,40	2,42	— 0,02
Am 27. Juli 1837.				
Mittag	1,147	4,90	4,90	0
1 U.	1,174	4,85	4,86	— 0,01
2	1,266	4,75	4,74	+ 0,01
3	1,444	4,50	4,51	— 0,01
4	1,764	4,10	4,13	— 0,03
5	2,174	3,50	3,49	+ 0,01
6	3,702	3,35	3,42	— 0,07
Vom 22. September 1837.				
Mittag	1,507	4,60	4,60	0
1 U.	1,559	4,50	4,54	— 0,04
2	1,723	4,30	4,36	— 0,06
3	2,102	4,00	3,97	+ 0,03
4	2,898	3,10	3,24	— 0,14
5	4,992	»	1,91	»

Beobachtungsstunden.	Dicke der durchlaufenen Luftschicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.	Berechnete Temperaturerhöhung.	Unterschiede.
		Am 4. Mai 1838.		
Mittag	1,191	4,80	4,80	0
1 U.	1,223	4,70	4,76	— 0,06
2	1,325	4,60	4,62	— 0,02
3	1,529	4,30	4,36	— 0,06
4	1,912	3,90	3,92	— 0,02
5	2,603	3,20	3,22	— 0,02
6	4,311	1,95	1,94	+ 0,01
		Am 11. Mai 1838.		
11 U.	1,193	5,05	5,06	— 0,01
12	1,164	5,10	5,10	0
1	1,193	5,05	5,06	— 0,01
2	1,288	4,85	4,95	— 0,10
3	1,473	4,70	4,73	— 0,03
4	1,812	4,20	4,37	— 0,17
5	2,465	3,65	3,67	— 0,02
6	3,943	2,70	2,64	+ 0,06

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Beobachtungsstunden, die zweite die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht, die vertikale Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt; die dritte enthält die beobachtete, die vierte die von Pouillet nach einer Formel, von der sogleich die Rede seyn wird, berechnete Temperaturerhöhung des Wassers im Heliometer.

Aus dieser Tabelle sehen wir nun zunächst, daß die Sonnenstrahlen um so mehr an wärmender Kraft verlieren, je weiter der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurückzulegen haben. Betrachten wir z. B. die Beobachtungen vom 11. Mai 1838, so finden wir, daß um 1 Uhr Nachmittags die Temperaturerhöhung 5,05° betrug, um 5 Uhr, wo die Dicke der durchlaufenen Luftschicht ungefähr doppelt so groß war, betrug die Temperaturerhöhung nur 3,65°, sie war also um 1,4° geringer; für die dreifache Dicke der Luftschicht, ungefähr um 6 Uhr Abends, war die Temperaturerhöhung nur 2,7°, also abermals um 0,9° geringer.

Man sieht daraus, daß die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen in einem etwas weniger raschen Verhältnisse abnimmt, als die Dicke der durchlaufenen Luftschicht wächst.

Es fragt sich nun, ob man aus solchen und ähnlichen Versuchen ein Gesetz für die Absorption der Wärmestrahlen in der Luft in der Weise ableiten kann, daß sich daraus die absolute Größe der atmosphärischen Absorption ergiebt, daß man danach die Temperaturerhöhung berechnen kann, welche das Wasser im Heliometer erfahren würde, wenn man das Instrument an die Gränze der Atmosphäre bringen könnte.

Pouillet hat gefunden, daß sich die Formel

$$t = a\, p^{\varepsilon}$$

recht gut den Beobachtungen anschließt, wenn man für a immer den constanten Werth 6,72, für p aber einen Werth setzt, der von einem Tage zum andern sich ändert. Dieser Werth von p ist nach den Beobachtungen vom

28. Juni . . .	0,7244
27. Juli . . .	0,7585
22. September .	0,7780
4. Mai . . .	0,7556
11. Mai . . .	0,7888.

Für ε ist die jedesmalige Dicke der durchlaufenen Luftschicht zu setzen, wie sie in der zweiten Columne steht; nach dieser Formel sind die Werthe der vierten Columne berechnet.

Pouillet schließt nun weiter, daß, wenn man in dieser Formel $\varepsilon = o$ setzt, man die Temperaturerhöhung erhalten müsse, welche das Heliometer an der Gränze der Atmosphäre oder in dem Falle erfahren würde, daß die Atmosphäre keine Wärmestrahlen absorbirte. Man erhält für $\varepsilon = o$

$$t = a = 6{,}72.$$

An der Gränze der Atmosphäre würde demnach die Temperatur des Instrumentes um 6,72° über die Temperatur der Umgebung steigen. Es werden demzufolge selbst am Mittag an ganz heiteren Tagen ungefähr $1/3$ der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt; wenn der Himmel bewölkt oder nur mit einem Schleier überzogen ist, muß die Wärmeabsorption in der Luft noch viel bedeutender seyn.

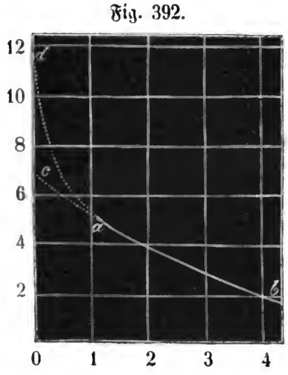
Dieses Resultat kann jedoch kaum als ein annähernd richtiges angesehen werden, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt.

Wir haben oben, Seite 427, gesehen, daß, wenn Wärmestrahlen auf ein absorbirendes Mittel fallen, in den ersten Schichten eine stärkere Absorption stattfindet als in den folgenden. Die Wärmemengen, welche durch eine Glasplatte von 3, von 5 und von 7 Millim. Dicke gehen, verhalten sich zueinander, wenn als Wärmequelle die Locatelli'sche Lampe dient, wie 65,3 : 62 : 60. Gesetzt nun, man hätte nur mit diesen drei Platten Versuche angestellt, man wüßte aber nicht, welches die directe Wirkung der Wärme-

quelle ist, könnte man sie wohl mit einiger Sicherheit aus diesen drei Versuchen ableiten? Gewiß nicht! Hier aber haben wir genau denselben Fall.

Die Kurve *a b*, Fig. 392, stellt das Gesetz dar, nach welchem die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen abnimmt, wenn die Dicke der Luftschicht wächst. Die Kurve ist nach den am 4. Mai 1838 Mittags 4, 5 und 6 Uhr gemachten Beobachtungen construirt, die Dicken der durchlaufenen Luftschichten sind als Abscissen, die entsprechenden Temperaturerhöhungen als Ordinaten aufgetragen. Um zu finden, wie groß die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre seyn würde, muß man die Kurve auch noch jenseits *a*, nach der Ordinate *o* hin, so verlängern, wie das Kurvenstück innerhalb *a b* andeutet, d. h. so, daß das angesetzte Kurvenstück mit dem schon vorhandenen eine continuirliche krumme Linie bildet; auf diese Weise ist die Kurve bis *c* fortgesetzt, und danach wäre denn allerdings die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre 6,7°; allein wir können die Kurve *b a* auch noch auf andere Weise fortsetzen, wir können sie nach *d* führen, und die Kurve *d a b* würde immer noch eine continuirliche krumme Linie seyn; und wenn dieser Lauf der Kurve das wahre Verhältniß darstellte, so würde die Temperaturerhebung an der Gränze der Atmosphäre 12° seyn, in diesem Falle würden selbst am Mittage weit mehr als die Hälfte aller von der Sonne zur Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt. Eines ist so gut möglich wie das andere, der Lauf der Kurve innerhalb *a b* enthält nicht Bestimmungsstücke genug, um sie außerhalb dieser Gränzen mit Sicherheit fortsetzen zu können.

Fig. 392.



Wenn man eine Formel ausfindig macht, welche sich wie die Pouillet'sche den Beobachtungen ziemlich gut anschließt, so folgt daraus noch nicht, daß sie den wahren Zusammenhang darstellt; man kann noch viele andere Formeln ausfindig machen, welche eben so gut, vielleicht auch noch besser, zu den Beobachtungen passen und welche doch für den Fall, daß man die Dicke der durchlaufenen Luftschicht gleich Null setzt, ganz andere Werthe für die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre geben.

Solche Formeln sind ganz zweckmäßig, um innerhalb der Beobachtungsgränze Zwischenwerthe zu berechnen, über diese Gränzen hinaus kann man sie jedoch nicht mehr mit Sicherheit gebrauchen. Hätte man z. B. für ver-

schiedene Temperaturen zwischen 8° und 20° die Dichtigkeit des Wassers mit der größten Genauigkeit bestimmt, hätte man für die Abhängigkeit zwischen der Temperatur und der Dichtigkeit eine Formel construirt, welche sich den Beobachtungen sehr gut anschließt, so würde sich aus denselben doch wohl schwerlich beweisen lassen, daß das Wasser bei 4° ein Dichtigkeitsmaximum hat, wenn man es nicht schon zum Voraus gewußt hätte.

Aus der Betrachtung der Fig. 392 zeigt sich, daß man die Kurve von *a* aus nicht wohl zu einem tieferen Punkte der Ordinate *o* führen kann als zum Punkte *c*, daß also die Wärmeabsorption in der Atmosphäre wenigstens so groß ist wie Pouillet gefolgert hat, d. h. daß also selbst für große Sonnenhöhen wenigstens ⅓ aller von der Sonne nach der Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt werden.

Pouillet berechnet in der Voraussetzung, daß die Temperaturerhöhung des Heliometers in 5 Minuten wirklich 6,72° betragen würde, wenn die Atmosphäre keine Wärmestrahlen absorbirte, die Wärmequantität, welche in der angegebenen Zeit dem Instrumente durch die Sonnenstrahlen zugeführt würde; daraus schließt er weiter auf die Wärmemenge, welche überhaupt von der Sonne auf die Erde gelangt, und kommt so zu dem Resultate, daß, wenn die Wärmemenge, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf die Erde sendet, auf derselben gleichförmig vertheilt wäre und daß sie ohne Verlust zum Eisschmelzen verwendet würde, daß sie alsdann im Stande wäre, eine die Erde einhüllende Eisschicht von 31 Metern Dicke zu schmelzen; und ferner, daß, wenn die Sonne ringsum von Eis umgeben wäre, und alle von ihr ausgehende Wärme ausschließlich verwendet würde, um dieses Eis zu schmelzen, daß alsdann in einer Minute eine Schicht von 12 Metern Dicke weggeschmolzen werden würde.

Da die Grundlage der Betrachtungen und Rechnungen, durch welche Pouillet zu diesem Resultate gelangte, zu schwankend ist, so ist wohl eine nähere Erörterung derselben überflüssig.

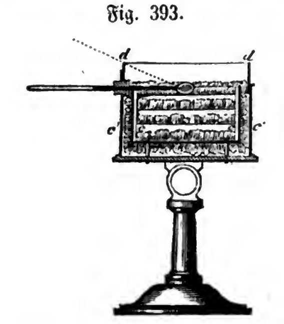
192 **Eigene Wärme der Erde und Temperatur des Weltraums.** Obgleich alle Wärme auf der Erdoberfläche nur von der Sonne kommt, so hat doch die Erde auch ihre eigenthümliche Wärme, wie aus der Temperaturzunahme folgt, welche man in großen Tiefen beobachtet hat. Wenn die Wärme nach dem Mittelpunkte der Erde hin auch in größerer Tiefe noch in dem Maaße zunimmt, welche uns diese Beobachtungen zeigen, so müßte schon in einer Tiefe von 3200 Metern die Temperatur des siedenden Wassers herrschen, im Mittelpunkte der Erde aber müßten alle Körper glühend und im geschmolzenen Zustande sich befinden. Daß wir von dieser ungeheuren Hitze im Innern der Erde auf der Oberfläche nichts

merken, läßt sich durch das schlechte Leitungsvermögen der erkalteten Erdkruste erklären, welche diesen glühenden Kern einschließt.

Auch der Weltraum hat seine eigenthümliche Temperatur, und es hat nicht an Versuchen gefehlt, dieselbe zu bestimmen. Nach Fourier ist die Temperatur des Weltraums — 50° bis — 60°, Arago aber hat darauf aufmerksam gemacht, daß sie jedenfalls bedeutend geringer seyn muß, da man ja auf dem Fort Reliance in Nordamerika eine Temperatur von — 56,7° beobachtet hat. Eine so starke Temperaturerniedrigung wäre auf der Erde nicht möglich, wenn die Temperatur des Weltraums nicht bedeutend geringer wäre.

Die Erkaltung der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung ist eine Folge davon, daß die Körper auf der Erdoberfläche gegen diesen kalten Weltraum ausstrahlen. Um die Gesetze der nächtlichen Strahlung zu ermitteln, hat Pouillet ein Instrument construirt, welches er Actinometer nennt und welches Fig. 393 dargestellt ist. Es besteht aus einem Thermometer, welches in einem Metallcylinder horizontal in solcher Weise angebracht ist, daß durch Schwanenfedern jede Wärmezuleitung von unten und von der Seite her gehindert wird. Wenn dieser Apparat in einer heitern Nacht ins Freie gestellt wird, so muß das Thermometer natürlich bedeutend unter die Temperatur der umgebenden Luft sinken. Die folgende Tabelle enthält einige Resultate, welche Pouillet mit diesem Instrumente erhalten hat.

Fig. 393.



Tage	Stunden	Temperatur der Luft	Temperatur des Actinometers	Unterschiede	Tage	Stunden	Temperatur der Luft	Temperatur des Actinometers	Unterschiede
Vom 20. bis 21. April					Vom 5. bis 6. Mai.				
20. April	8 U. Abds.	5.6	— 0,8	6,4	5. Mai	5 U. Abds.	25,5	19,9	5,6
	9	4,5	— 2 0	6,5		6	25,1	17,5	7,6
	10	3,6	— 3,0	6,6		7	23,1	15,0	8,1
21. »	4½ Morg.	0,0	— 7.0	7,0		8	22,9	13,9	9,0
	5	0,0	— 7,0	7,0		9	21,5	12,5	9,0
	5½	0,1	— 6,5	6,6		10	17,5	10	7,5
					6. »	4 Morg.	12,1	5	7,1
						4½	12,1	5	7,1
						5	12	6	6,0

Diese Versuche zeigen uns, daß die Temperatur des Actinometers fast in derselben Weise abnimmt, wie die Temperatur der Luft, daß also bei niedriger Lufttemperatur eine eben so starke Strahlung gegen den Himmelsraum stattfindet wie bei hoher. So fanden auch Wells und Daniell eine durch die nächtliche Strahlung bewirkte Temperaturerniedrigung von 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft; Wilson beobachtete einen Unterschied von fast 9° zwischen der Temperatur der Schneeoberfläche und der Luft, Scoresby und Parry haben in den Polargegenden ähnliche Beobachtungen bei einer Lufttemperatur von — 20° gemacht. Dies beweis't nun, daß die Temperatur des Weltraums sehr gering seyn muß, denn sonst müßte der Einfluß der nächtlichen Strahlung bei niedriger Temperatur geringer seyn als bei hoher.

Pouillet hat die Temperatur des Weltraums zu — 142° bestimmt; da jedoch die Schlüsse, durch welche er zu diesem Resultate gelangte, sehr gewagt sind; da ihre Grundlage höchst unsicher ist, so mag hier die Anführung dieses Resultates genügen.

Zweites Kapitel.

Vom atmosphärischen Druck.

193 **Correctionen der Barometerbeobachtungen.** Wir haben schon früher bei der Lehre vom Barometer gesehen, daß die Luft in Folge ihrer Schwere auf alle Gegenstände der Erdoberfläche drückt, welche gleichsam den Grund, den Boden dieses Luftmeeres bildet; wir haben auch gesehen, daß man die Größe dieses Luftdruckes mit Hülfe des Barometers messen kann, daß uns das Barometer angiebt, wie hoch eine Quecksilbersäule ist, welche dem atmosphärischen Drucke das Gleichgewicht hält.

Da das Quecksilber sich ausdehnt, wenn es erwärmt wird, da also seine Dichtigkeit um so geringer wird, je mehr seine Temperatur steigt, so ist klar, daß zwei Quecksilbersäulen von ungleicher Temperatur auch ungleiche Höhe haben müssen, wenn sie sich einander das Gleichgewicht halten sollen, daß derselbe Luftdruck eine höhere Säule von warmem als von kaltem Quecksilber tragen kann; wenn uns also die Höhe der Barometersäule ein richtiges Maaß des Luftdruckes geben soll, so müssen wir die Temperatur des Quecksilbers kennen, und um verschiedene Barometerbeobachtungen vergleichen zu können, müssen wir sie immer auf dieselbe Temperatur reduciren.

Um die verschiedenen Barometerbeobachtungen vergleichbar zu machen, ist man übereingekommen, die Höhe der Barometerhöhe stets auf 0° zu reduciren, d. h. nach der beobachteten Höhe des Barometers und der Temperatur des Quecksilbers zu berechnen, welches die Barometerhöhe gewesen seyn würde, wenn das Quecksilber die Temperatur von 0° gehabt hätte.

Bei einer Temperaturerhöhung von 1° C. dehnt sich das Quecksilber um 0,00018 seines Volumens bei 0° aus; bei einer Temperatur von t Graden ist es also $1 + 0{,}00018\,t$mal leichter als bei 0°; eine Quecksilbersäule von t^0, welche die Höhe h hat, wird demnach einer Quecksilbersäule von 0° und der Höhe $\frac{h}{1 + 0{,}00018t}$ das Gleichgewicht halten; wenn man also bei einer Temperatur von t^0 das Barometer beobachtet hat, so reducirt man den beobachteten Barometerstand auf 0°, wenn man ihn durch $1 + 0{,}00018\,t$ dividirt.

Hätte man z. B. bei einer Temperatur von 20° eine Barometerhöhe von $764{,}4^{mm}$ beobachtet, so würde bei unverändertem Luftdrucke und einer Temperatur von 0° die Höhe der Quecksilbersäule nur $\frac{764{,}4}{1{,}0036} = 761{,}65^{mm}$ betragen. Wenn also ein Barometer in einem Zimmer, dessen Temperatur 0° ist, auf $761{,}65^{mm}$ steht, so würde man gleichzeitig an demselben Barometer in einem geheizten Zimmer, dessen Temperatur 20° ist, $764{,}4^{mm}$ ablesen.

Wir haben bisher die Ausdehnung der Scala, auf welcher man die Barometerhöhe abliest, ganz unberücksichtigt gelassen. Wäre diese Scala aus einem Material verfertigt, welches sich in demselben Verhältnisse ausdehnt wie das Quecksilber, so wäre die Ausdehnung des Quecksilbers durch die der Scala von selbst corrigirt worden; da sich jedoch die Scala weit weniger ausdehnt als das Quecksilber, so muß man ihre Ausdehnung noch besonders in Rechnung bringen. Wenn die Barometerscala auf Glas geätzt ist, so kann man ihre Ausdehnung unberücksichtigt lassen, bei einer messingenen Scala darf sie jedoch nicht vernachlässigt werden. Um weitläufige Reductionsrechnungen zu vermeiden, hat man Tabellen berechnet, mit Hülfe deren die Reduction jederzeit leicht ausführbar ist. Die folgende Reductionstabelle ist von Deleros für den Fall berechnet, daß die Theilung auf Messing gemacht ist.

Barometerhöhe.	Ausdehnung der Quecksilber-Säule.								
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
600	0,097	0,194	0,290	0,387	0,484	0,581	0,678	0,775	0,872
05	0,098	0,195	0,293	0,391	0,488	0,586	0,683	0,781	0,879
10	0,098	0,197	0,295	0,394	0,492	0,591	0,689	0,788	0,886
15	0,099	0,198	0,298	0,397	0,496	0,596	0,695	0,794	0,893
20	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,901
25	0,101	0,202	0,303	0,403	0,504	0,605	0,706	0,807	0,908
30	0,102	0,203	0,305	0,407	0,508	0,610	0,712	0,813	0,915
35	0,102	0,205	0,307	0,410	0,512	0,615	0,717	0,820	0,922
40	0,103	0,207	0,310	0,413	0,516	0,620	0,723	0,826	0,930
45	0,104	0,208	0,312	0,416	0,520	0,625	0,729	0,833	0,937
50	0,105	0,210	0,315	0,420	0,524	0,629	0,734	0,839	0,944
55	0,106	0,211	0,317	0,423	0,529	0,634	0,740	0,846	0,951
660	0,106	0,213	0,320	0,426	0,533	0,639	0,746	0,852	0,959
65	0,107	0,215	0,322	0,429	0,537	0,644	0,751	0,859	0,966
70	0,108	0,216	0,324	0,433	0,541	0,649	0,757	0,865	0,973
75	0,109	0,218	0,327	0,436	0,545	0,654	0,763	0,871	0,980
80	0,110	0,219	0,329	0,439	0,549	0,658	0,768	0,878	0,988
85	0,111	0,221	0,332	0,442	0,553	0,663	0,774	0,884	0,995
90	0,111	0,223	0,334	0,445	0,557	0,668	0,780	0,891	1,002
95	0,112	0,223	0,336	0,449	0,561	0,673	0,785	0,897	1,010
700	0,113	0,226	0,339	0,452	0,565	0,678	0,791	0,904	1,017
05	0,113	0,228	0,341	0,455	0,569	0,683	0,797	0,910	1,024
10	0,115	0,229	0,344	0,458	0,573	0,688	0,802	0,917	1,031
15	0,115	0,231	0,346	0,462	0,577	0,691	0,808	0,923	1,039
20	0,116	0,232	0,349	0,465	0,581	0,697	0,813	0,930	1,046
25	0,117	0,234	0,351	0,468	0,585	0,702	0,819	0,936	1,053
30	0,118	0,236	0,353	0,471	0,589	0,707	0,825	0,943	1,060
35	0,119	0,237	0,356	0,474	0,593	0,712	0,830	0,949	1,068
40	0,119	0,239	0,358	0,478	0,597	0,717	0,836	0,955	1,075
45	0,120	0,240	0,361	0,481	0,601	0,721	0,842	0,962	1,082
50	0,121	0,242	0,363	0,484	0,605	0,726	0,847	0,968	1,089
55	0,121	0,244	0,365	0,487	0,609	0,731	0,853	0,975	1,097
60	0,123	0,245	0,368	0,491	0,613	0,736	0,859	0,981	1,104
65	0,124	0,247	0,370	0,494	0,617	0,741	0,864	0,988	1,111
70	0,124	0,249	0,373	0,497	0,621	0,746	0,870	0,994	1,118
75	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,876	1,001	1,126
80	0,126	0,252	0,378	0,504	0,629	0,755	0,881	1,007	1,133
85	0,127	0,253	0,380	0,507	0,633	0,760	0,888	1,014	1,140
90	0,127	0,255	0,382	0,510	0,637	0,765	0,893	1,020	1,148
95	0,128	0,257	0,385	0,513	0,641	0,770	0,898	1,026	1,155
800	0,129	0,258	0,387	0,516	0,646	0,775	0,904	1,033	1,162

Der Gebrauch dieser Tabelle ist ganz einfach. Nehmen wir an, das Barometer stehe auf 750^{mm}, das an demselben befestigte Thermometer zeige aber eine Temperatur von 8°, so hat man 0,968 von 750 abzuziehen, die corrigirte Barometerhöhe ist also 749,032^{mm}. Wäre die beobachtete Barometerhöhe aber 745^{mm} gewesen, so hat man von 745 abzuziehen:

für 20° $10 \times 0{,}240 = 2{,}4$

für 3° $0{,}361$

für 0,7° $\frac{0{,}842}{10} = 0{,}084$

zusammen also 2,845

Die corrigirte Barometerhöhe wäre demnach 743,155^{mm}.

Für Barometerhöhen, welche zwischen den von 5 zu 5 Millimetern fortschreitenden Zahlen der ersten Columne liegen, kann man ohne merklichen Fehler die den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Zahlen der nächst höheren Horizontalreihe nehmen. Wäre z. B. die Barometerhöhe 748, die Temperatur aber 9°, so hat man von 748 die Zahl 1,082 abzuziehen.

Wenn das am Barometer befestigte Thermometer unter 0° steht, so hat man die entsprechenden Zahlen nicht abzuziehen, sondern zu addiren.

Eine zweite Correction ist von allen Beobachtungen, welche an Gefäßbarometern angestellt worden sind, wegen der Capillardepression in der Röhre anzubringen. Die folgende Tabelle enthält die Werthe dieser Depression für Röhren von verschiedenem Durchmesser.

Innerer Durchmesser der Röhre	Depression	Differenzen	Innerer Durchmesser der Röhre	Depression	Differenzen
mm	mm	mm	mm	mm	mm.
21,00	0,028	0,004	11,50	0,293	0,037
20,50	0,032	0,004	11,00	0,330	0,042
20,00	0,036	0,005	10,50	0,372	0,047
19,50	0,041	0,006	10,00	0,419	0,054
19,00	0,047	0,006	9,50	0,473	0,061
18,50	0,053	0,007	9,00	0,534	0,070
18,00	0,060	0,008	8,50	0,604	0,080
17,50	0,068	0,009	8,00	0,684	0,091
17,00	0,077	0,010	7,50	0,775	0,102
16,50	0,087	0,012	7,00	0,877	0,118
16,00	0,099	0,013	6,50	0,995	0,141
15,50	0,112	0,015	6,00	1,136	0,170
15,00	0,127	0,016	5,50	1,306	0,201
14,50	0,143	0,018	5,00	1,507	0,245
14,00	0,161	0,020	4,50	1,752	0,301
13,50	0,181	0,023	4,00	2,053	0,362
13,00	0,204	0,026	3,50	2,415	0,487
12,50	0,230	0,030	3,00	2,902	0,692
12,00	0,260	0,033	2,50	3,595	0,985
11,50	0,293		2,00	4,579	

199 **Tägliche Variationen des Barometers.** Wenn man in unseren Gegenden einige Zeit lang mehrmals täglich das Barometer beobachtet, so sind die oft sehr bedeutenden Schwankungen so unregelmäßig, daß man auf den ersten Anblick durchaus keine periodischen Veränderungen wahrnehmen kann, während selbst aus ganz rohen Beobachtungen des Thermometers sich alsbald sowohl eine tägliche als eine jährliche Periode im Gange der Temperatur nachweisen läßt.

Schon im ersten Bande ist angeführt worden, daß in den Tropen die zufälligen Schwankungen des Barometers ungleich geringer sind als in den höheren Breiten, daß dagegen zwischen den Wendekreisen eine tägliche Periode der Barometerschwankungen sich entschieden ausspricht; hier reicht es hin, das Barometer nur einen oder zwei Tage lang zu beobachten, um die täglichen Variationen zu constatiren.

Es fragt sich nun, ob in höheren Breiten wirklich gar keine periodischen Barometerschwankungen stattfinden, oder ob sie nur durch die weit bedeutenderen zufälligen Schwankungen markirt sind. Um entscheiden zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend macht, muß man die Mittelzahlen einer großen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmäßig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Wenn man jedoch einen Monat lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, so reicht dies hin, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unsere Gegenden zu beweisen. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer 20jährigen von Bouvard auf der Sternwarte zu Paris angestellten Reihe von Barometerbeobachtungen; sie giebt die auf 0^0 reducirten Barometerstände in Millimetern an. Die Beobachtungsstunden waren 9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Jahr.	Höchster Stand		Tiefster Stand		Mittlere Barometerstände				
	H. St.	Tag. Monat.	T. St.	Tag. Monat.	9 Uhr.	12 Uhr.	3 Uhr.	9 Uhr.	Mittel.
1819	70,89	1. Jan.	38,00	1. März	5,104	4,863	4,389	4,789	4,786
1820	72,60	9. »	26,33	24. »	6,077	5,838	5,352	5,712	5,745
1821	80,82	6. Febr.	15,54	24. Dec.	5,986	5,755	5,285	5,764	5,697
1822	75,93	27. »	34,60	2. »	7,437	7,158	6,591	7,020	7,052
1823	72,23	7. Dec.	22,34	2. Febr.	5,033	4,796	4,353	4,633	4,704
1824	73,24	27. Mai	28,66	12. Oct.	5,817	5,567	5,072	5,385	5,460
1825	76,35	10. Jan.	26,82	10. Nov.	7,742	7,430	6,873	6,962	7,252
1826	74,79	17. »	31,53	13. »	7,367	7,047	6,509	6,868	6,948
1827	73,48	28. Dec.	33,50	4. März.	6,211	5,995	5,484	5,847	5,884
1828	71,10	12. »	30,54	21. Febr.	6,306	6,084	5,616	5,982	5,997
1829	73,46	3. Febr.	34,68	7. Oct.	5,377	5,107	4,641	5,145	5,068
1830	71,90	1. Jan.	29,42	9. Dec.	5,918	5,691	5,255	5,722	5,646
1831	72,40	8. »	33,80	30. April	5,356	5,157	4,676	5,176	5,091
1832	71,02	4. April	38,05	30. »	7,893	7,548	7,025	7,597	7,515
1833	74,04	8. Jan.	30,68	1. »	5,790	5,508	4,988	5,521	5,452
1834	72,00	27. Dec.	39,46	10. Jan.	9,014	8,650	8,073	8,690	8,607
1835	76,63	2. Jan.	30,16	10. Oct.	7,270	6,990	6,494	7,114	6,967
1836	75,81	2. »	24,00	28. März.	5,363	5,038	4,578	5,165	5,036
1837	72,41	14. Oct.	37,74	13. Sept.	6,686	6,381	5,861	6,360	6,322
1838	72,31	31. Dec.	28,88	25. Febr.	4,679	4,365	3,896	4,355	4,324
1839	71,53	1. Jan.	35,77	20. »	5,386	5,102	4,631	5,048	5,041
1840	72,37	11. »	31,70	4. »	6,492	6,135	5,628	6,198	6,113
Mittel	73,51	14. »	31,01	19. Jan.	6,287	6,009	5,512	5,957	5,941

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Angabe der Beobachtungsjahre; dann folgt die Angabe des in jedem Jahre beobachteten höchsten und tiefsten Barometerstandes, und zwar ist hier der Abkürzung wegen 700, bei den mittleren Barometerständen aber 750 weggelassen; so steht z. B. in der Columne »höchster Stand« bei 1835 die Zahl 76,63, der höchste im Jahre 1835 beobachtete Barometerstand war also 776,63 Millimeter. Die für eine jede Beobachtung angegebenen Mittelzahlen sind das Mittel aus allen zu dieser Stunde im Laufe eines Jahres gemachten Beobachtungen; so ist z. B. 754,389 das Mittel aus allen im Laufe des Jahres 1819 um 3 Uhr Nachmittags beobachteten Barometerständen.

Man sieht aus dieser Tabelle, daß die für die verschiedenen Beobachtungsstunden gefundenen jährlichen Mittel ungleich sind; sie haben durchgängig den höchsten Werth für 9 Uhr Morgens, den niedrigsten um 3 Uhr Nachmittags; es spricht sich darin entschieden ein periodisches Sinken und Steigen aus; die nichtperiodischen Schwankungen unberücksichtigt gelassen, sinkt demnach das Barometer ungefähr von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags, um dann wieder zu steigen. Um 9 Uhr Morgens steht das Barometer im Durchschnitt um 0,775 Millimeter höher als um 3 Uhr Nachmittags.

Die Amplitude der periodischen Schwankungen ist dieser Tabelle zufolge sehr gering im Vergleich zu den unregelmäßigen nicht periodischen Schwankungen, denn im Durchschnitt ist der höchste Barometerstand im Laufe eines Jahres 773,5^{mm}, der niedrigste 731^{mm}, ihre Differenz also 42,5^{mm}, während die Differenz des täglichen Maximums und Minimums nur 0,775^{mm} beträgt.

Um den Gang der täglichen Barometerschwankungen gehörig verfolgen zu können, muß eine Zeitlang wenigstens bei Tage stündlich das Barometer beobachtet werden. Die meisten Beobachtungsreihen dieser Art sind jedoch des Nachts nicht fortgesetzt; man kann aber mit ziemlicher Sicherheit aus den am Tage gemachten Beobachtungen auf den Gang des Barometers in der Nacht schließen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate solcher Beobachtungsreihen, welche an verschiedenen Orten angestellt wurden.

Orte	gr. Ocean	Cumana	La Guayra	Calcutta	Padua	Halle	Abo	Petersburg
Entfernung vom Aequator	0° 0′	10° 28′ n.	10° 36′ n.	22° 35′ n.	45° 24′ n.	51° 29′ n.	60° 57′ n.	59° 66′ n.
Beobachter	Horner	Humboldt	Boussignault	Balfour	Ciminello	Kämtz	Hallström	Kupffer
Mittag	752,35	756,57	759,41	759,61	757,02	753,29	759,31	759,47
1	751,87	755,99	758,91	759,22	756,85	753,11	759,29	»
2	751,55	755,47	758,41	758,39	756,67	752,99	759,27	759,38
3	751,15	755,14	758,12	758,12	756,54	752,89	759,25	»
4	751,02	754,96	758,05	757,91	756,47	752,84	759,25	759,32
5	751,31	755,14	758,10	757,93	756,46	752,86	759,27	»
6	751,71	755,41	758,40	758,01	756,50	752,91	759,29	759,31
7	751,93	755,81	758,90	758,02	756,63	753,02	759,34	»
8	752,35	756,21	759,19	758,54	756,79	753,14	759,39	759,32
9	752,74	756,59	759,69	759,24	756,92	753,24	759,44	»
10	752,85	756,87	759,93	759,33	757,02	753,31	759,47	759,36
11	752,86	757,15	759,98	759,09	757,02	753,29	759,47	»
Mitternacht	752,47	756,86	759,64	758,80	757,01	753,23	759,41	759,35
1	752,20	756,53	759,34	758,62	756,90	753,14	759,33	»
2	751,77	756,21	759,05	758,57	756,84	753,05	759,24	759,32
3	751,63	755,89	758,81	758,49	756,78	752,99	759,14	»
4	751,32	755,66	758,68	748,47	756,74	752,99	759,07	759,32
5	751,65	755,79	758,85	758,44	756,75	753,34	759,03	»
6	751,95	756,18	759,32	758,68	756,79	753,12	759,04	759,39
7	752,48	756,58	759,94	759,16	756,89	753,24	759,08	»
8	752,95	756,98	760,50	759,88	757,01	753,37	759,15	759,49
9	753,16	757,31	759,63	760,11	757,08	753,44	759,21	»
10	753,15	757,32	760,50	760,19	757,14	753,46	759,29	759,51
11	752,80	757,01	759,99	760,09	757,07	753,40	759,32	»

Nach dieser Tabelle ist in den folgenden Figuren der Gang der täglichen Barometervariationen für Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg anschaulich gemacht.

Fig. 394.

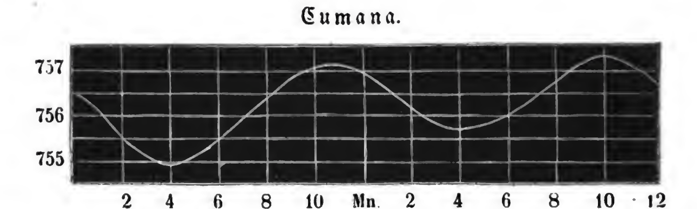


Fig. 395.

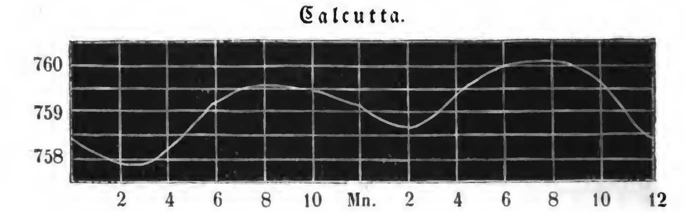
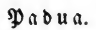


Fig. 396.



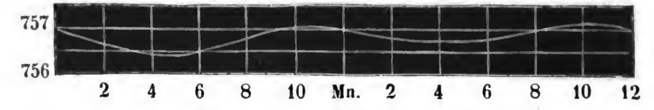


Fig. 397.



Die Zeit ist zur Abscisse genommen, der Maßstab der Ordinaten aber ist vergrößert, weil die Amplitude der täglichen Variationen namentlich in

höheren Breiten sonst wegen ihrer Kleinheit nicht sichtbar geworden wäre; die Entfernung je zweier auf einander folgender Horizontallinien stellt ½ Millimeter dar.

Das Barometer sinkt also vom Mittag an und erreicht zwischen 3 und 5 Uhr sein erstes Minimum, es steigt dann und erreicht ein Maximum zwischen 9 und 11 Uhr Abends; ein zweites Minimum tritt gegen 4 Uhr Morgens, ein zweites Maximum gegen 9 Uhr Morgens ein.

Die Stunden, in welchen die tägliche Variation ein Maximum oder Minimum erreicht, nennt man Wendestunden.

Die Wendestunden sind bei uns nicht für alle Jahreszeiten dieselben, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, welche für Halle die Wendestunden in den verschiedenen Monaten des Jahres enthält.

Monate.	Minimum.	Maximum.	Minimum.	Maximum.
Januar . . .	2.81 h. A.	9,17 h. A.	4.91 h. M.	9,91 h. M.
Februar . . .	3,43	9,46	3,86	9,66
März	3,82	9,80	3,87	10,10
April	4.46	10,27	3,53	9,53
Mai	5,43	10,93	3,03	9,13
Juni	5,20	10,93	2,83	8,73
Juli	5,21	11,04	3,04	8,48
August	4,86	11,66	3,06	8,96
September . .	4,55	10,45	3,45	9,71
October . . .	4,17	10,24	3,97	10,07
November . .	3,52	9,85	4,68	10,08
December . .	3,15	9,11	4,91	10,18

Bestimmt man die Wendestunden, indem man das Mittel aus allen Monatszahlen nimmt, so ergeben sich für alle Orte sehr nahe dieselben Wendestunden. Wenn die Wendestunden nicht für alle Orte genau dieselben sind, so rührt vielleicht der Unterschied nur daher, daß nicht an allen Orten die Beobachtungsreihen lange genug fortgesetzt wurden; nimmt man alle auf der nördlichen Halbkugel angestellten Beobachtungen zusammen, so ergeben sich im Durchschnitt folgende Wendestunden;

Minimum des Nachmittags 4 Uhr 5 Minuten
Maximum des Abends . . . 10 » 11 »
Minimum des Morgens . . 3 » 45 »
Maximum des Morgens . . 9 » 37 »

Vergleicht man die Amplitude der täglichen Variationen, so findet man, wie schon angeführt wurde, daß sie in den Tropen am größten ist und daß sie um so mehr abnimmt, je weiter man sich von dem Aequator entfernt. In Cumana beträgt die Amplitude der täglichen Variationen 2,36, in Petersburg nur 0,2 Millimeter.

Auch die Jahreszeiten üben auf die Größe der täglichen Variationen einen Einfluß aus, selbst in den Tropen ist die Amplitude derselben während der Regenzeit geringer. Im Winter ist die Amplitude der täglichen Schwankungen ein Minimum; zu welcher Zeit sie ein Maximum ist, hat man bis jetzt noch nicht genügend ermittelt. Die folgende Tabelle giebt die Werthe der täglichen Amplitude zu Halle und Mailand für die 12 Monate des Jahres an.

Monate.	Halle.	Mailand.
	mm	mm
Januar . . .	0,393	0,738
Februar . . .	0,476	0,718
März	0,488	0,871
April	0,569	0,871
Mai	0,546	0,801
Juni.	0,557	0,961
Juli	0,566	0,952
August. . . .	0,569	0,812
September. .	0,546	0,817
October . . .	0,566	0,745
November . .	0,426	0,727
December . .	0,363	0,700

195 **Jährliche Periode der Barometerschwankungen.** Wenn man den mittleren Barometerstand für die verschiedenen Monate des Jahres bestimmt, so findet man bald, daß er sich von einem Monate zum andern bedeutend ändert, und man erkennt in diesen Veränderungen auch bald eine jährliche Periode des Sinkens und Steigens. Die beiden folgenden Tabellen enthalten die mittleren Barometerstände der verschiedenen Monate für 10 Orte der nördlichen Hemisphäre.

Monate.	Havanna.	Calcutta.	Benares.	Macao.	Cairo.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	765,24	764,57	755,41	767,93	762,40
Februar	760,15	758,86	752,91	767,01	»
März	760,98	756,24	751,19	766,08	759,43
April	759,58	753,83	747,33	761,93	760,10
Mai	758,19	750,81	745,01	761,64	758,23
Juni	760,67	748,10	741,13	757,31	754,42
Juli	760,67	747,54	740,65	757,91	753,90
August	757,33	748,53	743,31	757,91	754,06
September	757,46	751,85	745,98	762,22	756,70
October	758,19	755,25	750,35	763,37	759,70
November	761,25	758,37	753,06	766,17	760,76
December	763,62	760,59	755,57	768,65	761,82

Monate.	Paris.	Straßburg.	Halle.	Berlin	Petersburg.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	758,86	751,62	754,64	761,91	762,54
Februar	759,09	752,43	753,44	761,23	763,10
März	756,33	751,19	751,62	759,90	760,76
April	755,18	749,95	750,98	757,82	761,19
Mai	755,61	750,49	752,57	759,88	760,94
Juni	757,28	752,16	752,70	759,81	759,83
Juli	756,52	751,64	753,27	759,58	758,25
August	756,74	752,03	752,18	759,02	759,94
September	756,61	752,59	753,42	760,53	761,19
October	754,42	751,82	755,55	761,25	760,82
November	755,75	751,28	753,27	759,43	758,05
December	755,09	750,70	754,10	760,35	760,22

Fig. 398.

Calcutta.

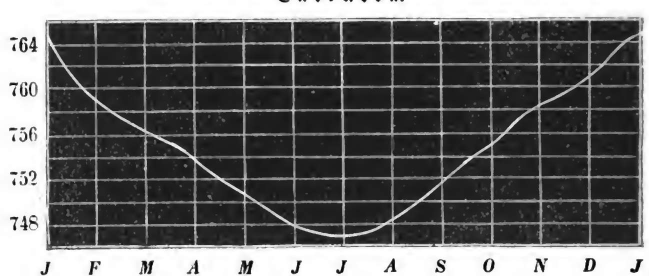


Fig. 399.

Macao.

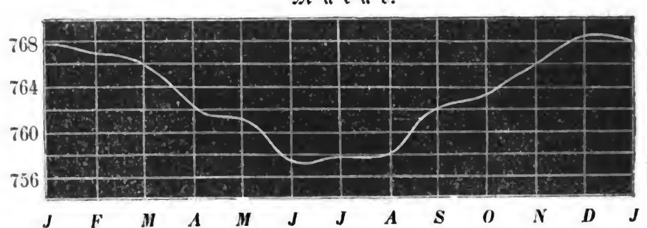


Fig. 400.

Paris.

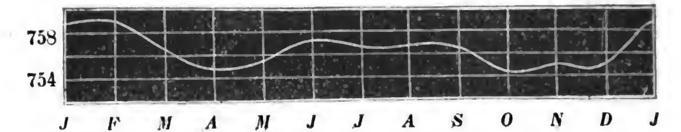
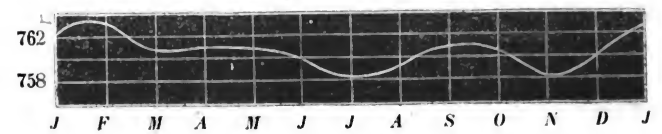


Fig 401.

Petersburg.



Um die Veränderungen des mittleren Barometerstandes im Laufe eines Jahres anschaulicher zu machen, folgt hierbei die graphische Darstellung derselben für Calcutta, Macao, Paris und Petersburg. Die Entfernung zweier Horizontallinien entspricht einer Höhendifferenz von 2 Millimetern, in vertikaler Richtung ist also der Maßstab dieser Figuren 4mal kleiner als der Maßstab der Figuren auf Seite 526.

In Calcutta, wo man eine 8jährige Reihe von Beobachtungen angestellt hat, spricht sich die jährliche Periode am entschiedensten aus. Im Januar ist der mittlere Barometerstand am höchsten, er sinkt beständig bis zum Juli, wo er sein Minimum erreicht, und steigt dann wieder bis zum Januar. Die Amplitude der jährlichen Periode beträgt für Calcutta 17 Millimeter; in Amerika scheint diese Amplitude, welche ebenfalls mit der Entfernung vom Aequator abnimmt, geringer zu seyn.

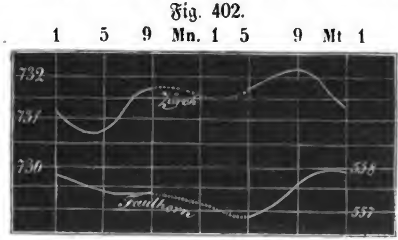
Auch in höheren Breiten ist der mittlere Barometerstand im Winter höher als in allen übrigen Jahreszeiten, außerdem aber ist in größerer Entfernung vom Aequator der periodische Gang des mittleren Barometerstandes im Laufe des Jahres nicht so regelmäßig, wie man sowohl aus der Tabelle, als auch in den Figuren sehen kann.

Einfluß der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers. 196 Da das Barometer die Größe des Druckes anzeigt, welchen die über uns befindliche Luft ausübt, so werden die Schwankungen des Barometers auf hohen Bergen, wo eine Luftsäule von weit geringerer Höhe und Dichtigkeit drückt, auch geringer seyn müssen als in der Tiefe, und es läßt sich erwarten, daß in gewissen Höhen über dem Meeresspiegel die Veränderungen des Luftdrucks ganz unmerklich werden. Daß die Erhebung über das Niveau des Meeres wirklich einen solchen Einfluß ausübt, geht aus den Barometerbeobachtungen hervor, welche Kämtz auf dem Rigi und auf dem Faulhorn angestellt hat und welche in der folgenden Tabelle mit den gleichzeitigen mittleren Barometerständen der verschiedenen Tagesstunden zu Zürich zusammengestellt sind. Die Zahlen von 10 Uhr Abends bis 5 Uhr Morgens sind durch Interpolation bestimmt.

Stunden	Zürich	Rigi	Unterschiede	Zürich	Faulhorn	Unterschiede
	mm 720+	mm 610+	mm 100+	mm 730+	mm 550+	mm 170+
Mittag	4,08	4,36	9,72	1,58	7,88	3,70
1	3,92	4,37	9,57	1,25	7,75	3,50
2	3,82	4,38	9,44	0,99	7,66	3,33
3	3,72	4,34	9,38	0,71	7,59	3,13
4	3,63	4,34	9,30	0,64	7,50	3,15
5	3,61	4,30	9,31	0,76	7,49	3,27
6	3,76	4,38	9,38	0,92	7,51	3,41
7	3,95	4,40	9,57	1,21	7,41	3,80
8	4,22	4,57	9,87	1,52	7,43	4,10
9	4,55	4,70	9,85	1,72	7,44	4,27
10	4,61	4,72	9,90	1,79	7,41	4,39
11	4,68	4,68	10,00	1,77	7,36	4,41
Mitternacht	4,58	4,58	10,01	1,72	7,28	4,44
1	4,43	4,45	9,99	1,63	7,19	4,45
2	4,28	4,30	9,98	1,54	7,08	4,47
3	4,19	4,17	10,03	1,51	6,96	4,55
4	4,18	4,09	10,10	1,54	6,90	4,65
5	4,25	4,03	10,23	1,66	6,90	4,76
6	4 31	4,03	10,28	1,79	7,05	4,76
7	4,38	4,05	10,33	1,97	7,16	4,80
8	4,41	4,13	10,28	2,13	7,36	4,77
9	4,38	4,16	10,22	2,20	7,62	4,57
10	4,29	4,23	10,06	2,12	7,89	4,24
11	4,19	4,34	9,86	1,87	7,99	3,97

Hier zeigt sich der Einfluß der Höhe auf die Größe der täglichen Variationen entschieden. Die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande ist in Zürich 1,56mm, während sie auf dem Faulhorn nur 1,09mm ist. Außer der Größe der Schwankungen zeigt sich aber auch im Gange des Barometers eine große Verschiedenheit, wie man am besten aus Fig. 402 übersieht, in welcher die täglichen Variationen auf dem Faulhorn und in Zürich durch Kurven anschaulich gemacht sind. Die Zahlen rechts beziehen sich auf die untere, die Zahlen links auf die obere Kurve. Man sieht, daß am Nachmittag das Barometer an beiden Orten sinkt, in Zürich steigt es aber von 4 Uhr an bis gegen 9 Uhr Abends, während auf dem Faulhorn das Sinken in den Abendstunden kaum merklich unterbrochen ist und dann bis 5 Uhr Morgens fortdauert; nun steigt auf dem Faulhorn das Barometer wieder bis gegen Mittag, während es in Zürich schon um 9 Uhr Morgens seinen höchsten Stand erreicht; auf dem Faulhorn ist also das zweimalige Sinken und Steigen im Laufe des Jahres fast verschwunden, es ist nur ein entschiedenes Maximum und nur ein entschiedenes Minimum wahrzunehmen.

Fig. 402.



Mittlere monatliche Schwankungen. Es ist bereits erwähnt worden, daß in unseren Gegenden die periodischen Schwankungen des Barometers durch die zufälligen nicht periodischen maskirt sind, daß man die periodischen Schwankungen nur durch Mittelzahlen aus lange fortgesetzten Beobachtungsreihen nachweisen kann. Wir wollen uns jetzt zur Betrachtung der nicht periodischen Schwankungen wenden und zunächst den Einfluß der Jahreszeiten auf die Größe derselben kennen lernen. 197

Nach den vom physikalischen Vereine zu Frankfurt a. M. angestellten meteorologischen Beobachtungen sind Folgendes die Unterschiede des höchsten und tiefsten Tagesmittels für jeden der 12 Monate vom Jahre 1837 bis 1843 in Pariser Linien:

	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	Mittel
Januar . . .	9,5	10,5	15	13,5	15	10,5	18	13,1
Februar . . .	13	15	10,5	15,5	10	13	13	13
März	6,5	12,5	10	8,5	13	12	7,5	10
April	8,5	8	6,5	8	8	11,5	8	8,3
Mai	6	7,5	7	11	7,5	6,5	7	7,5
Juni	3,5	5,5	7,5	5,5	8,5	5	5	5,8
Juli	4,5	5,5	4,5	6,5	7	7	8,5	6,2
August	8,5	7,5	8,5	6	8	7	5,5	7,3
September . .	8	9,5	9,5	9,5	6	8	9	8,3
October . . .	11	8,5	4	13	11	13	11	10,2
November . .	13	12	7,5	14	16,5	14	7	12
December . .	9,5	9,5	9,5	12,5	10	8,5	7,5	9,6

Man übersieht aus dieser Tabelle, daß die Größe der nicht periodischen Schwankungen im Sommer kleiner ist als im Winter, besonders deutlich übersieht man dies aus den Mittelzahlen der letzten Columne. Nimmt man das Mittel aus den 12 Zahlen der letzten Columne, so erhält man den Werth 9,28 Pariser Linien oder 20,4 Millimeter als Durchschnittswerth für die Differenz der monatlichen Extreme.

Dies ist jedoch noch nicht der wahre Mittelwerth für die Größe der monatlichen Schwankungen, denn wir haben ja nicht die Differenz des im Laufe eines Monats beobachteten höchsten und niedrigsten Barometerstandes, sondern nur den Unterschied des höchsten und tiefsten mittleren täglichen Barometerstandes in Rechnung gebracht.

Die folgende Tabelle enthält die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen an verschiedenen Orten der Erde.

Batavia	6°	12′	S.	2,98mm
Tivoli (St. Domingo) .	18	35	N.	4,11
Havanna	23	9		6,38
Calcutta	22	34		8,28
Teneriffa	28	26		8,48
Funchal (Madeira) . .	22	37		10,42
Cap der guten Hoffnung	33	55	S.	12,45
Rom	41	53	N.	17,15
Montpellier	43	36		18,02
Mailand	45	28		19,24
Wien	48	13		20,53
Prag	50	5		21,54
Paris	48	50		23,66
Mannheim	48	29		23,66
Moskau	55	46		24,05
Berlin	52	31		25,24
New-Haven (Connecticut)	41	10		25,29
Jakuzk	62	2		25,92
London	51	31		27,88
Petersburg	59	56		29,24
Nain (Labrador) . . .	57	8		32,35
Christiania	59	55		33,05
Naes (Island) . . .	64	30		35,91.

Die nicht periodischen Barometerschwankungen sind also nicht allein im Winter größer als im Sommer, sondern sie sind auch in kalten Ländern bedeutender als in heißen, d. h. sie nehmen im Allgemeinen um so mehr zu, je weiter man sich vom Aequator entfernt.

Solche Linien auf der Erdoberfläche, welche alle Orte mit einander verbinden, für welche die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen dieselbe ist, heißen *isobarometrische Linien*.

Wir können hier den Lauf der isobarometrischen Linien nicht weiter verfolgen und müssen uns auf einige allgemeine Bemerkungen beschränken. Aus der eben mitgetheilten Tabelle ersieht man, daß die isobarometrischen Linien durchaus nicht mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Calcutta und Havanna liegen nahe in gleicher Breite, und doch sind die Barometerschwankungen in Calcutta weit bedeutender. An der Ostküste von Nordamerika sind die zufälligen Schwankungen des Barometers viel größer als an den Westküsten von Europa, sie sind in New-Haven und dem 11° 21′ nördlicher gelegenen Berlin fast gleich, die isobarometrischen Linien steigen also von den Ostküsten Nordamerika's nach Europa und entfernen sich dann

um so weiter vom Aequator, je weiter man ins Innere des Continents der alten Welt kommt.

Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres. Man glaubte 198 früher, daß der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel allenthalben derselbe sey; dies ist jedoch nicht der Fall, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, in welcher die mittleren Barometerstände verschiedener am Meere gelegener Orte zusammengestellt sind.

Cap der guten Hoffnung	33° S.	763,01mm
Rio Janeiro	23	764,03
Christianborg	5° 30′ N.	760,10
St. Thomas	19	760,51
Macao	33	762,99
Madeira	32 30	765,18
Neapel	41	762,95
Paris	49	761,41
Edinburg	56	758,25
Reikiavig	64	752,00
Spitzbergen	75 30	756,76.

Wir sehen aus dieser Tabelle, wie dies in Fig. 403 auch graphisch dargestellt ist, daß der mittlere Barometerstand am Meere vom Aequator nach dem Nordpole hin erst wenig, dann rascher zunimmt, daß er zwischen dem 30. und 40. Breitengrade sein Maximum erreicht, dann weiter nach Norden hin wieder abnimmt und zwischen dem 60. und 70. Grade nördlicher Breite am kleinsten ist.

Fig. 403.

765
760
755
0 10 20 30 40 50 . 60 70

Ursachen der Barometerschwankungen. Die Ursache aller Baro- 199 meterschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung, bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen seyn, welche uns das Barometer anzeigt.

Daß wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, daß sie in den Tropen, wo die Tem-

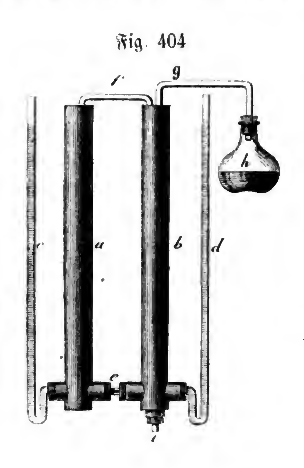
peratur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind, in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, da ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr groß, ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Obgleich man im Allgemeinen nachweisen kann, daß die ungleiche und stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Größe des Luftdrucks zur Folge haben muß, so sind wir doch noch weit davon entfernt, alle einzelnen hierher gehörigen Erscheinungen genügend erklären zu können.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muß also an dem wärmeren Orte abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muß das Barometer steigen, weil sich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfließende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Es läßt sich dies durch den Apparat Fig. 404 anschaulich machen.

Fig. 404



a und *b* sind Blechröhren von $1^1/_2$ bis 2 Fuß Höhe, welche unten bei *e* durch ein Stück Thermometerrohr verbunden sind. Mit der Blechröhre *a* ist die Glasröhre *c*, mit der Röhre *b* ist die Glasröhre *d* in Verbindung. Wenn man in eine der Röhren *b* oder *a* Wasser gießt, so wird dasselbe nur langsam durch die enge Röhre bei *e* in die andere Röhre fließen können. Wenn man beide Röhren *a* und *b* fast bis oben füllt und sie dann oben durch ein hinlänglich weites Heberrohr *f* in Verbindung setzt, so muß sich das Wasser in allen vier Röhren, *c*, *a*, *b* und *d*, gleich hoch stellen. Nun aber geht durch das Blechrohr *b* von oben bis unten ein unten offenes Glasrohr *g i* hindurch, durch welches die in dem Kolben *h* mittelst einer Weingeistlampe entwickelten Wasserdämpfe hindurchgeleitet werden. In unserer Figur ist der Kolben *h* neben die Röhre *d*

gezeichnet worden, es ist aber besser, wenn er, was sich in der Figur nicht so gut hätte darstellen lassen, hinter d sich befindet.

Da das Rohr $g\,i$ mit kaltem Wasser umgeben ist, so werden die durchstreichenden Dämpfe verdichtet, und das Wasser in b wird erwärmt. Wenn nun zwischen a und b gar keine Verbindung wäre, so würde die Wassersäule in b steigen, ohne daß das Wasser in d steigt, weil b erwärmt wird, d aber kalt bleibt; weil aber die Röhren b und a oben durch die Heberröhre f verbunden sind, so kann das Wasser in b nicht höher stehen als in a, ein Theil des in b erwärmten Wassers fließt nach a über, und in Folge dessen sinkt das Wasser in d, in c aber steigt es, weil zu dem schon in a vorhandenen Wasser noch neues durch den Heber f hinzukommt.

Wäre e eine hinlänglich weite Röhre, so würde das Wasser in allen vier Röhren stets gleich hoch bleiben, weil in dem Maaße, als warmes Wasser durch f nach a fließt, unten umgekehrt kaltes Wasser durch e nach b fließen würde, weil sich also das gestörte Gleichgewicht in jedem Augenblicke wieder herstellen; dies ist aber nicht möglich, weil die Röhre e zu enge ist. Ebenso wird in erkalteten Gegenden der Luftdruck zu-, in erwärmten abnehmen, weil die Luft in den unteren Regionen nicht schnell genug der erwärmten Gegend zuströmen kann, um das gestörte Gleichgewicht sogleich wieder herzustellen.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht, die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen; da, wo ein warmer Luftstrom weht, müßte die Atmosphäre eine größere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe seyn sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfließen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

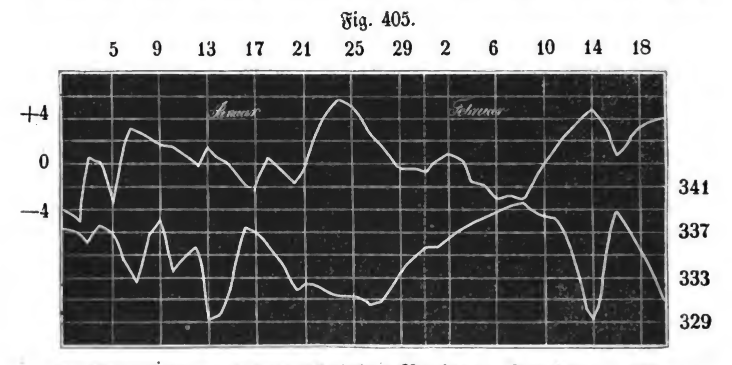
In Europa sind im Durchschnitte die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muß also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Dieser Umstand erklärt auch, daß der mittlere Barometerstand am

Meere zwischen dem 60. und 70. Breitengrade so gering ist; die Luft, welche von südlichen Gegenden herkommt, verliert mehr und mehr ihren Wassergehalt, der Druck, den sie ausübt, muß also nach und nach abnehmen.

Nach der eben entwickelten Ansicht ist das Sinken des Barometers eine Erscheinung, welche das Wehen warmer Winde begleitet, während kalte Winde ein Steigen des Barometers veranlassen; im Allgemeinen wird also das Thermometer steigen, wenn das Barometer fällt. Dies ist auch in der That der Fall, und zwar tritt dieser Gegensatz im Gange der beiden Instrumente am deutlichsten im Winter auf. Die beistehende Figur, welche

Fig. 405.



den Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen ist, zeigt den Gang der mittleren täglichen Temperatur und des mittleren täglichen Barometerstandes daselbst vom 1. Januar bis zum 20. Februar 1837; man sieht, wie in der That das Barometer gewöhnlich steigt, wenn das Thermometer fällt, und daß ein barometrisches Minimum meistens mit einem thermometrischen Maximum zusammenfällt.

Die Versuchsreihen anderer Jahre und anderer Orte geben dasselbe Resultat.

Wenn dieser Gegensatz im Sommer nicht so rein auftritt, so ist der Grund davon darin zu suchen, daß die an sich warmen Südwestwinde im Sommer doch eine kühlere Temperatur zur Folge haben, weil, wenn sie wehen, der Himmel meistens bewölkt ist und dadurch die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrahlen verhindert wird, während die abkühlende Wirkung der Nordostwinde dadurch neutralisirt wird, daß sich bei heiterem Himmel durch die kräftig wirkenden Sonnenstrahlen der Boden bedeutend erwärmt. Damit hängt auch die geringere Amplitude der Barometerschwankungen im Sommer zusammen.

Da die Südwestwinde, welche in unseren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regnerisches

Wetter bringen, während das Barometer steigt, wenn Nordostwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, so kann man allerdings sagen, daß im Allgemeinen ein hoher Barometerstand schönes Wetter, ein tiefer aber schlechtes Wetter anzeigt. Dies ist aber, wie gesagt, nur eine Durchschnittsregel, denn bei Nordostwind ist der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südwestwind auch manchmal heiter; sie ist jedoch in derselben Ausdehnung wahr wie die, daß bei Nordostwind das Barometer hoch, bei Südwestwinde dagegen tief steht; dies ist auch nicht immer, sondern nur im Durchschnitte wahr. Wir können uns von solchen Anomalien keine Rechenschaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt sind, welche den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre bedingen.

Daß ein hoher Barometerstand im Allgememeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, ist auch nur für solche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden sind. An dem Ausflusse des La Platastromes z. B. sind die kalten Südostwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer steigen machen, die Regenwinde, die warmen Nordwestwinde aber, bei welchen das Barometer sinkt, sind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umstande, daß hier der Regen durch kalte Winde gebracht wird, ist die geringere Regenmenge dieser Gegenden zuzuschreiben, während unter gleicher Breite an den Westküsten von Südamerika sehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordwestwind zugleich ein Seewind ist.

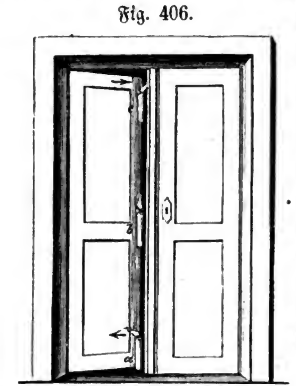
Die tägliche Periode der Barometerschwankungen ist wesentlich durch die Veränderungen im Feuchtigkeitszustande der Luft bedingt; wir werden deshalb auf diesen Gegenstand zurückkommen, wenn wir die Veränderungen werden kennen gelernt haben, welche der Wassergehalt der Luft im Laufe des Tages erleidet.

Drittes Kapitel.

Von den Winden.

200 **Entstehung der Winde.** Wenn man im Winter die in einen kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Endedes Spaltes hält, wie man Fig. 406 sieht, so zeigt die nach außen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, so stellt sich die Flamme immer mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung steht sie ganz still, sie ist hier nicht durch Luftströmungen afficirt; bringt man sie aber noch weiter herunter, so wird die Flamme von außen nach innen getrieben. Man sieht also, daß die erwärmte Luft oben aus- und daß dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Fig. 406.



Wie hier im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftströmungen veranlaßt, so ist auch die ungleiche stets wechselnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr schwebenden Luftmeeres die Ursache der Luftströmungen, die wir Winde nennen. Auch im Großen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe nach den kälteren abfließen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer, über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auch auf dem Meere schon in größerer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine

Windstille ein. Nun erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird. Daß auf diese Weise, also gleichsam durch Saugen, häufig Winde, und namentlich Stürme erzeugt werden, dafür sprechen zahlreiche Erfahrungen. Wargentin bemerkt, daß der Westwind in der Regel zu Moskau eher als zu Abo beobachtet wird, obgleich letztere Stadt bedeutend westlicher liegt als Moskau; auch bläst dieser Westwind in Finnland oft eher als in Schweden.

Franklin erzählt, daß, als er zu Philadelphia eine Mondfinsterniß beobachten wollte, er daran durch einen Nordoststurm verhindert wurde, welcher sich gegen 7 Uhr Abends einstellte und den Himmel mit dichten Wolken überzog; er war überrascht, einige Tage nachher zu erfahren, daß der Sturm zu Boston, welches ungefähr 400 Meilen nordöstlich von Philadelphia liegt, erst um 11 Uhr Abends angefangen hatte, nachdem schon die ersten Phasen der Mondfinsterniß beobachtet worden waren. Indem er alle Berichte aus den verschiedenen Colonien mit einander verglich, bemerkte Franklin durchgängig, daß dieser Nordoststurm an den verschiedenen Orten um so später sich eingestellt hatte, je weiter sie nach Norden lagen.

Es ist bekannt, daß zwischen Häusern der Wind oft in anderer Richtung weht als über dem Gebäude, weil durch diese die Windrichtung auf mannigfache Art modificirt wird. Gerade so wie die Häuser können aber auch Gebirge locale Störungen in der Windrichtung bewirken.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, daß in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

201 **Passatwinde und Moussons.** Als Columbus auf seiner Entdeckungsreise nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieser in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der ersten Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden. Diese Reise ist so sicher und die Arbeit der Matrosen dabei so gering, daß die spanischen Seeleute diesen Theil des atlantischen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südsee weht dieser Wind, die spanischen Schiffer ließen sich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind bis zum 28.—30. Grade, im großen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heißen Zone ist die Richtung des Passatwindes eine nordöstliche, je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Gränze des Passats ist in der südlichen Halbkugel weniger genau bestimmt, dort aber hat der Passat eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch sind sie in der Regel erst 50 Meilen weit vom festen Lande entschieden merklich.

Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmten und deshalb mächtig aufsteigenden Luft eben durch diese vertikale Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

Diese Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Das Kärtchen, Fig. 407 (a. f. S.), dient dazu, die Gegenden zu zeigen, in welchen die Passatwinde herrschen. Die Mitte der Region der Calmen, welche im Durchschnitte eine Breite von 6° hat, fällt nicht, wie man wohl erwarten sollte, mit dem Aequator zusammen, sondern sie liegt nördlich von demselben. Während unserer Sommermonate ist der Gür-

tel der Calmen breiter, und seine nördliche Gränze entfernt sich mehr vom Aequator, während die südliche Gränze sich nur wenig ändert.

Fig. 407.



Die Ursache davon, daß die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt, ist wohl in der Configuration der Continente zu suchen.

Die Passatwinde lassen sich leicht erklären. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in die Höhe steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten und strömt oben nach den Polen hin ab, während unten die Luft von den Polen her dem Aequator zufließt. Wenn die Erde keine Axendrehung hätte, so würde der Passatwind auf der nördlichen Halbkugel gerade von Norden nach Süden, auf der südlichen Hemisphäre aber in entgegengesetzter Richtung wehen. Nun aber dreht sich die Erde von Westen nach Osten, und das Luftmeer, welches sie umgiebt, theilt diese Rotationsbewegung.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, desto langsamer wird er sich in dem während 24 Stunden zu beschreibenden Kreise fortbewegen, weil dieser Kreis um so kleiner ist, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Demnach ist auch die Rotationsgeschwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmasse in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmasse aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, so langt sie mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit über Ländern an, welche sich schneller von Westen nach Osten bewegen; in Beziehung auf diesen unter ihr sich fortbewegenden Boden hat sie also eine Bewegung von Osten nach Westen. Diese Bewegung combinirt sich mit der gegen den Aequator hin fortschreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nordost-, auf der südlichen aber zu einem Südostwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufsteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen hin zu ergießen. Die Richtung dieses oberen Passates ist natürlich der des unteren gerade ent-

gegengesetzt, sie ist in der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, in der südlichen Halbkugel eine nordwestliche.

Daß in den oberen Luftregionen wirklich ein Passat weht, welcher dem unteren entgegengesetzt ist, läßt sich durch Thatsachen beweisen; so wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulkans von Cosiguina im Staate Guatimala die Asche bis in die Höhe des oberen Passates geschleudert, der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so daß sie auf der Insel Jamaika niederfiel, obgleich in den unteren Regionen der Nordostpassat herrschte.

In größerer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im indischen Oceane ist die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmäßig abwechselnden Winde werden Moussons genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum October, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in südlicheren Gegenden eine größere Wärme erzeugt, muß natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heißeren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Oceane der Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calmen getrennt.

Während des Sommers wird das Wehen des Südostpassates zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent so stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlaßt, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

202 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Passat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie schon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich als Südwestwind den Boden; außerhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequa-

tor zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, sondern neben einander her, sie streben einander gegenseitig zu verdrängen, bald erlangt der Südwest, bald der Nordost die Ueberhand, und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

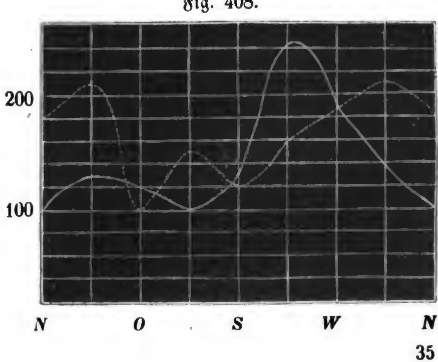
Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die herrschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmäßige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons im indischen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitte unter je 1000 Tagen ein jeder der 8 Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N. O.	O.	S. O.	S.	S. W.	W.	N. W.
England . . .	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich . .	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland .	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark . .	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden . .	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland . .	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika	96	116	49	108	123	197	101	210

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß im westlichen Europa die Südwestwinde entschieden vorherrschen, besonders ist dies in England der Fall, in Rußland dagegen sind die Nordost- und Nordwestwinde vorherrschend. Diese Unterschiede zwischen der vorherrschenden Windrichtung in England und Rußland sind in Fig. 408 noch anschaulicher gemacht. Die Ordinaten

Fig. 408.



der ausgezogenen Kurve in den mit *N, O, S* und *W* bezeichneten Punkten sind der Anzahl der Tage proportional, an welchen in England im Durchschnitt unter je tausend Tagen der Nord-, der Ost-, der Süd- und der Westwind herrscht; ebenso sind die zwischen diesen in der Mitte liegenden Ordinaten der Anzahl der Tage proportional, an welchen die Zwischenwinde beobachtet werden. Auf dieselbe Weise ist die punktirte Kurve für die russischen Windverhältnisse construirt.

Der Südwestwind, welcher im westlichen Europa vorherrscht, ist auch auf dem atlantischen Oceane zwischen Europa und Nordamerika der herrschende Wind, und daher kommt es, daß die Ueberfahrt von England nach Nordamerika in der Regel länger dauert als die Rückfahrt. Die Packetboote, welche zwischen Liverpool und New-York fahren, legen den Hinweg durchschnittlich in 40, den Rückweg in 23 Tagen zurück.

Dem im westlichen Europa vorherrschenden Südweststrome, welcher über die warmen Gewässer des atlantischen Oceans gestrichen ist und sich dadurch mit Wasserdämpfen beladen hat, verdankt dieses Land sein Küstenklima. Selbst im westlichen Europa tritt der Charakter des Seeklimas, nämlich milde Winter und kühle Sommer mit häufigem Regen, in solchen Jahren entschiedener auf, in welchen der Südwestwind häufiger weht, in solchen Jahren hingegen, in welchen die nordöstliche Strömung länger herrscht als gewöhnlich, nähert sich der Charakter der Witterung mehr dem des Continentalklimas. So wehten z. B. im Jahre 1816 zu Paris die Nord-, Nordost-, Ost- und Südostwinde 111 Tage, die übrigen Regen bringenden Winde aber 255 Tage lang, und dieses Jahr war bekanntlich ein ungemein feuchtes; die Regenmenge betrug 54,5^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war nur 15,6, die des kältesten 2,6^{0}. Im Jahre 1826 wehten dagegen zu Paris die *N*, *NO*, *O* und *SO* Winde 156 Tage, die übrigen 209 Tage lang; die Regenmenge betrug in diesem Jahre nur 47,2^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war 21,2^{0}, die des kältesten — 1,7^{0}. Das Jahr 1826 war also trockener, sein Sommer heißer und sein Winter kälter als im Jahre 1816.

Wenn in gewissen Gegenden der nördlichen Hemisphäre die Südwestwinde die herrschenden sind, so sollte man meinen, daß in anderen Gegenden der Nordoststrom vorherrschen müsse, da doch die Luft zum Aequator zurückkehren muß; Dove meint, daß die Krümmung der Isothermen darauf hindeutet, daß über die Continente der alten und neuen Welt auf der nördlichen Halbkugel zwei nördliche Ströme gehen, über die zwischenliegenden Oceane aber zwei südliche, die sich eine gewisse Strecke weit über die Continente ausbreiten.

Die Existenz eines vorherrschenden Nordoststroms im Innern der Continente ist jedoch von Anderen in Zweifel gezogen worden, und in der That

zeigen alle bis jetzt gemachten Erfahrungen, daß in höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre entweder Südwest= oder Westwinde vorherrschen. Es scheint darin aber ein Widerspruch zu liegen, es scheint nämlich, als ob auf diese Weise dem Pole mehr Luft zuströmt, als nach dem Aequator zurückkehrt. Dieser Widerspruch läßt sich aber heben, wenn man bedenkt, daß der Südweststrom wärmere, weniger dichte Luft mit sich führt, besonders aber, daß er eine Menge von Wasserdämpfen nach höheren Breiten bringt, welche, hier condensirt, als Regen oder Schnee niederfallen; nach dem Aequator strömt aber nur die ihres Wasserdampfes beraubte Luft in nordöstlicher Richtung zurück; es muß also in der That dem Pole eine größere Gasmenge zuströmen, weil ein Theil dieser Gase, nämlich der Wasserdampf, nicht in Gasform nach dem Aequator zurückströmt.

203 **Gesetz der Winddrehung.** Obgleich bei einer oberflächlichen Betrachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu seyn scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, daß die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

S, SW, W, NW, N, NO, O, SO, S.

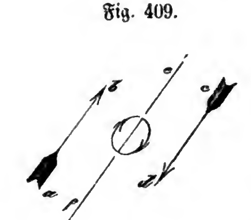
Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten geschildert:

»Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt, es kann daher nicht mehr scheinen, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den eben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne noch nichts davon weiß und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne *SO*, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei *SO* und *S* fallende Schnee bei *SW* wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt.«

Nicht immer läßt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, nämlich von *S* nach *O, N, W*, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Das eben besprochene Gesetz der Winddrehung hat Dove auf eine sehr scharfsichtige Weise erklärt. Zwei in entgegengesetzter Richtung neben einander fließende Luftströme werden da, wo sie sich berühren, einander gegenseitig hemmen und dadurch nothwendig Wirbel erzeugen. Wenn nun in der Richtung *ab* ein Südwest-, in der Richtung *cd* ein Nordostwind weht, so werden sich an der Gränze *ef* der beiden Ströme Wirbel in der in der Figur angedeuteten Richtung bilden müssen; die Drehung des Windes in der erwähnten Richtung ist eine Folge dieser Wirbel.

Fig. 409.



Die Gränze, welche die beiden Ströme trennt, ist eine in der Richtung von *SW* nach *NO* fortlaufende Linie, die, parallel mit sich selbst, bald mehr nach Osten, bald mehr nach Westen vorrückt. Wir befinden uns entweder nahe an der östlichen Gränze des Südweststromes, oder nahe an der westlichen Gränze des Nordoststromes. Wenn wir uns entschieden im Südweststrome befinden, wenn also die Gränze der beiden entgegengesetzten Luftströmungen östlich von uns liegt, so herrscht bei unveränderter Windrichtung und niedrigem Barometerstande ein anhaltendes Regenwetter. Rückt die Gränze des Nordost- und des Südweststromes nun nach Westen vor, so wird, wenn diese Gränze an dem Beobachtungsorte anlangt, der Wind durch *W* nach *NO* umschlagen, und wenn wir uns dann in der Mitte des oft Wochen lang ruhig fortfließenden Nordoststromes selbst befinden, bleibt der Himmel heiter; im Winter findet dann strenge Kälte, im Sommer trockene Hitze Statt. Das Wetter ändert sich erst, wenn der Nordost allmälig wieder durch den Südweststrom verdrängt wird, wobei dann natürlich der Wind durch Ost, Südost und Süd umschlagen muß.

Bei Ost- und Westwinden, wenn wir uns also in den an der Gränze der beiden Hauptströme gebildeten Wirbeln befinden, wehen die Winde oft in verschiedenen Richtungen über einander her, die Windfahne zeigt eine andere Windrichtung als der Wolkenzug; ist aber der nordöstliche oder der südwestliche Strom entschieden durchgedrungen, so ist dies nicht mehr der Fall.

Die Periode einer vollständigen Umdrehung des Windes durch alle Richtungen der Windrose ist bald von kürzerer, bald von längerer Dauer.

Drehuugen im entgegengesetzten Sinne, nämlich

$$S, O, N, W, S,$$

werden da vorkommen müssen, wo der Südweststrom auf der Ostseite des Nordoststromes herrscht. Bei den Seemoussons zeigt sich die der europäischen entgegengesetzte Richtung entschieden (Dove, Pogg. Ann. Bd. 13), und spricht für die Annahme, daß über dem asiatischen Continente ein nordöstlicher, zu beiden Seiten aber der südwestliche Strom herrschend sey.

Die Wirbel, welche durch den Kampf der sich gegenseitig verdrängenden Hauptströme entstehen, können nur selten an einem Orte vollständig beobachtet werden, weil diese Wirbel selbst eine fortschreitende Bewegung haben; durch die Aufeinanderfolge neuer Wirbel wird aber ein Zurückspringen des Windes erzeugt, und zwar um so häufiger, je größer die fortschreitende Geschwindigkeit der Wirbel ist. Da nun die Intensität des südwestlichen Stromes größer ist als die des nordöstlichen, so wird das Zurückspringen des Windes auch häufiger auf der Westseite der Windrose stattfinden als auf der Ostseite.

Gegen diese Erklärung des Gesetzes der Winddrehung hat Schouw (Pogg. Ann. Bd. 14) eingewendet, daß die Existenz eines vorherrschenden Nordoststromes auf den großen Continenten durchaus nicht erwiesen sey. In Petersburg ist *NW* die herrschende Windrichtung, und nach Georges Reise sind auch im östlichen Sibirien *W* und *N* die herrschenden Winde. In Nordamerika ist die westliche Richtung der Winde ebenfalls überwiegend. Ferner macht Schouw darauf aufmerksam, daß nach Dove's Erklärung auch an den Ostküsten von Nordamerika der Wind sich in einer Richtung drehen müsse, welche der in Europa gewöhnlichen gerade entgegengesetzt ist.

Dove hat später das Gesetz der Winddrehung auf folgende Weise erklärt (Pogg. Ann. Bd. 36):

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an andere Orte, welche eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch *NO* in *O* über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über wel-

chem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der größeren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen und Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch größerer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann ganz westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muß der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passates wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

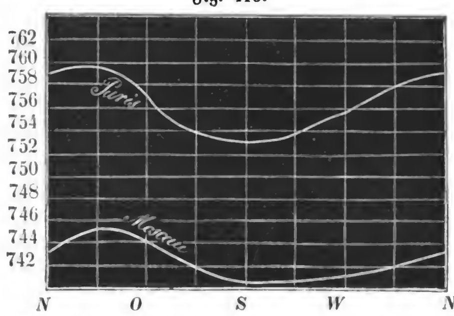
In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, daß die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

204 **Barometrische und thermometrische Windrose.** Es ist schon mehrfach erwähnt worden, daß die Windrichtung einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Quecklbersäule im Barometer hat. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Barometerhöhe für jeden der 8 Hauptwinde an mehreren Orten Europa's an.

Winde.	London.	Paris	Berlin.	Moskau.
N	759,20	759,09	758,68	743,07
N O	760,71	759,49	759,36	745,06
O	758,93	757,24	758,77	743,90
S O	756,83	754,03	754,69	741,74
S	754,37	753,15	751,33	740,63
S W	755,25	753,52	752,57	740,34
W	757,28	755,57	756,00	741,06
N W	758,03	757,78	756,62	741,76

Nach dieser Tabelle sind die Kurven Fig. 410 für Paris und Moskau

Fig. 410.



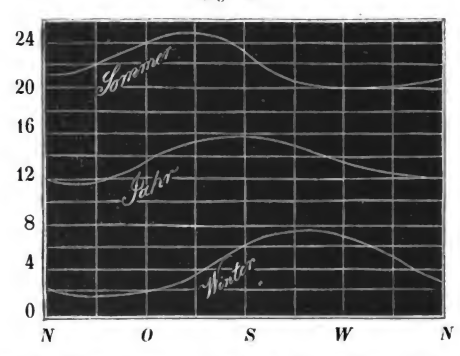
construirt. Man sieht, daß in der That den Nordostwinden der höchste, den Süd- und Südwestwinden der niedrigste Barometerstand entspricht.

Indem man die mittlere Temperatur aller derjenigen Tage nimmt, an welchen im Laufe des Jahres ein und derselbe Wind weht, erhält man die mittlere Temperatur dieses Windes. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Temperatur der Hauptwinde für mehrere Orte an.

Winde.	Paris.	Carlsruhe.	London.	Moskau.
N	12,03	9,88	8,00	1,21
N O	11,76	8,30	7,63	1,44
O	13,50	8,51	8,38	3,53
S O	15,25	12,20	9,50	4,63
S	15,43	12,61	10,00	5,[illegible]6
S W	14,93	11,00	10,13	5,69
W	13,64	12,20	9,25	5,49
N W	12,39	11,50	8,38	3,33

Nach dieser Tabelle ist für Paris die mittlere der drei Kurven in Fig. 411 construirt. Man sieht, wie für Paris, sowie für die anderen ange-

Fig. 411.



führten Orte die Temperatur der Luft im Durchschnitt für die nördlichen Winde niedriger ist als für die südlichen. Die obere der drei Kurven zeigt, wie sich im Durchschnitt die mittlere Temperatur zu Paris im Sommer mit der Windrichtung ändert. Während dieser Jahreszeit bringen die Südwest-, West- und Nordwestwinde die niedrigste Temperatur, weil sie von einem bedeckten Himmel begleitet sind, welcher die Erwärmung des Bodens hindert, die Südostwinde bringen dagegen im Sommer die größte Wärme. Im Winter ist es, wie die untere Kurve zeigt, am kältesten, wenn Nord-, Nordost- und Ostwinde wehen, weil sie an und für sich von kälteren Ländern kommen und weil sie den Himmel heiter machen, wodurch die nächtliche Wärmestrahlung befördert wird; wogegen die Erwärmung durch die Sonnenstrahlen während des kurzen Tages nur unbedeutend ist; die Süd-, Südwest- und Westwinde hingegen sind an und für sich wärmer und hindern die nächtliche Strahlung, da sie den Himmel bedeckt machen.

205 **Stürme.** Die Stürme sind Folgen einer bedeutenden Störung im Gleichgewichte der Atmosphäre und höchst wahrscheinlich rührt diese Störung von einer raschen Condensation der Wasserdämpfe her, wie dies schon oben angedeutet wurde. Nach der Ansicht von Brandes entstehen die Stürme dadurch, daß die Luft mit Gewalt von allen Seiten dem Orte der Verdünnung zuströmt, während das Minimum des Luftdrucks selbst eine fortschreitende Bewegung hat. Auf diese Weise erklärt es sich, daß das Barometer bei Stürmen so tief sinkt. Diese Ansicht hat auch in Amerika an Espy einen Vertheidiger gefunden.

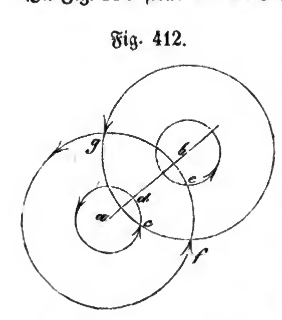
Gegen diese Theorie hat Dove eingewendet, daß die Richtung des Windes, wie man sie zu beiden Seiten der Linie, nach welcher das Mi-

nimum des Luftdrucks fortrückt, vor, während und nach dem Sturme beobachtet, nicht ganz mit dieser Ansicht übereinstimmt. Während des Sturmes am 21. December 1821 ging die Linie des am meisten verminderten Luftdrucks von Brest nach der Südspitze von Norwegen; zu Anfange des Sturmes hätte also von allen Seiten her der Wind nach Brest hin blasen, es hätte also in London zu Anfange des Sturmes ein Nordost-, in Paris ein Ostwind wehen müssen, während den Beobachtungen zufolge der Wind zu Anfange des Sturmes zu London ein Südost, in Paris ein Südwind war. Zu Ende des Sturmes hätte der Wind nach der Südspitze von Norwegen hin wehen, er hätte also in London und Paris ein Südwest seyn müssen, während in der That an beiden Orten der Wind während des Sturmes durch Südwest nach West und Westnordwest umschlug.

Dove hat eine andere Theorie der Stürme aufgestellt, nach welcher sie Wirbelwinde sind, in denen die Luft nach einer bestimmten Richtung rotirt, während diese Wirbel zugleich eine fortschreitende Bewegung haben. Auf der nördlichen Hemisphäre außerhalb der Tropen schreiten die Wirbel in südwestlicher Richtung voran, die Rotationsrichtung ist aber *SONW*. Nach dieser Theorie wäre bei dem erwähnten Sturme zu Anfange desselben Brest, zu Ende desselben die Südspitze von Norwegen der Mittelpunkt des Wirbels gewesen.

In Fig. 412 stelle ab die Linie vor, nach welcher das Minimum des Luftdrucks fortschreitet; für den speciellen Fall also, den wir eben betrachtet haben, wäre a etwa Brest, b die Südspitze von Norwegen. Die um a gezogenen Kreise stellen die Wirbel zu Anfang, die um b gezogenen aber zu Ende des Sturmes dar. Man sieht, daß nach dieser Theorie in der That südöstlich von der Linie $a\,b$ ein Südost- oder Südwind wehen muß, z. B. in d und e Südost, in c und f Süd; zu Ende des Sturmes aber wird an diesen Orten, wie man aus den um b gezogenen Kreisen sieht, der Wind eine westliche Richtung haben; der Wind schlägt also hier von Südost und Süd nach West um. Auf der Nordwestseite der Linie $a\,b$ schlägt der Wind in entgegengesetzter Richtung um, er ist z. B. in g zu Anfang des Sturmes ein Ost-, zu Ende des Sturmes ein Nordwind.

Fig. 412.



Auf der südlichen Halbkugel ist die Rotationsrichtung der Wirbel die entgegengesetzte und außerhalb der Tropen schreiten sie in nordwestlicher Richtung vorwärts.

Innerhalb der Tropen ist auf der nördlichen Halbkugel die Richtung der Stürme eine südöstliche, auf der südlichen eine nordöstliche; sowie aber die Stürme die Gränze des Passats erreichen, biegen sie um, indem sie auf der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, auf der südlichen eine nordwestliche Richtung annehmen.

Die wirbelnde Bewegung leitet Dove daraus ab, daß eine durch irgend einen Impuls von dem Aequator nach einem Pole, etwa dem Nordpole, hingetriebene Luftmasse gegen ruhende Luft gleichsam anstößt.

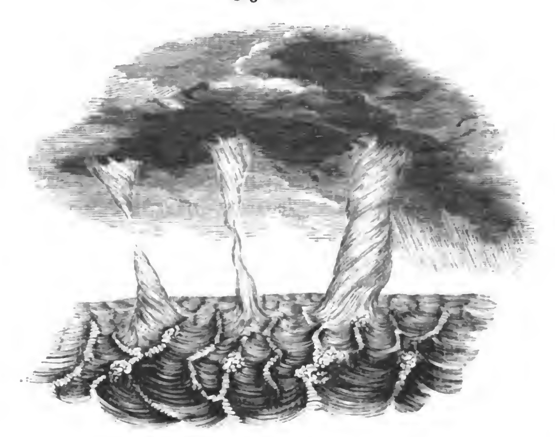
Die Dove'sche Theorie stimmt, wie wir gesehen haben, sehr gut mit der Erscheinung überein, doch läßt sich nicht leugnen, daß sie wenigstens in ihrer jetzigen Form noch Manches im Dunkel läßt. So spricht sie sich über die Ursache dieser großen Aufregung der Atmosphäre gar nicht aus, man sieht auch nicht recht klar ein, in welchem Zusammenhange die Wirbel mit der außerordentlichen Verminderung des Luftdrucks stehen, d. h. man begreift nicht recht, wie es kommt, daß, wenn eine Luftmasse durch irgend einen Impuls vom Aequator nach den Polen hin in Bewegung gesetzt wird und gegen eine ruhende Luftmasse stößt, eine so starke Verminderung des Luftdrucks stattfinden kann.

In den Tropen wüthen die Stürme ungleich heftiger als in höheren Breiten; die Zerstörungen der Orkane, welche man in Amerika mit dem Namen der Tornados bezeichnet, sind wahrhaft fürchterlich. So wurden z. B. durch den Sturm, welcher am 25. Juli Guadeloupe verwüstete, solid gebaute Häuser umgerissen; Kanonen wurden bis zur Brüstung der Batterie, auf welcher sie standen, fortgeschleudert, ein Brett von ungefähr 3 Fuß Länge, 8 Zoll Breite und 10 Linien Dicke wurde mit solcher Geschwindigkeit durch die Luft gejagt, daß es den Stamm eines Palmbaumes, welcher ungefähr 17 Zoll im Durchmesser hatte, durch und durch bohrte.

Oft sieht man bei ruhigem Wetter, wie Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern sieht man schon größere Luftwirbel der Art, welche Staub, Blätter, Stroh u. s. w. mit in die Höhe nehmen. Die Tromben sind nichts Anderes als solche Wirbel in größerem Maßstabe; sie werden in der Regel durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengesetzter Richtung wehender Winde erzeugt. Sie bilden gewöhnlich einen Doppelkegel; der obere Theil desselben, dessen Spitze herabgesenkt ist, besteht aus einer Wolkenmasse, während der untere Kegel, dessen Spitze nach oben gerichtet ist, aus Wasser besteht, wenn das Meteor auf dem Meere oder über Seen und Flüssen sich bildet, oder aus Sand und sonstigen festen Körpern, wenn die Trombe über das Land herzieht. Solche Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte

weit fortzuschleudern u. s. w. Die Wassertromben sind unter dem Namen

Fig. 413.



der Wasserhosen bekannt; sie heben das Wasser oft bis zu einer Höhe von vielen hundert Fußen.

Viertes Kapitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft. Wenn man an 206 einem heißen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen, es verdunstet, das heißt: es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke unsichtbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu seyn.

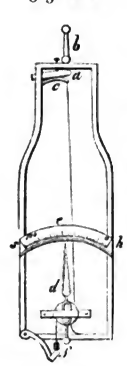
Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfes in der Luft überzeugen will, muß man ihn auf irgend eine Weise verdichten.

Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfs, wenn man die Luft durch ein mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regelmäßiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes mit Wasser gefülltes Gefäß; aus der einen Oeffnung fließt durch ein Rohr beständig Wasser ab, die andere Oeffnung ist mit dem Absorptionsrohre in Verbindung, so daß hier eine dem ausfließenden Wasser gleiche Menge getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasserdampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

Diese Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspirator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmäßige Formen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern den mittleren Wassergehalt während der ganzen Dauer des Versuches; man hat deshalb kleinere, leichter transportabele Apparate construirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, daß viele organische Körper die Eigenschaft haben, Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnißmäßig zu verlängern. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche hygroskopische Körper, und man benutzte sie deshalb zur Construction von Hygrometern. Das beste Instrument der Art ist das von Saussure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 414 abgebildet ist.

Fig. 414.



Das Haar ist mit seinem oberen Ende an einem Zünglchen a befestigt, das andere Ende aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der anderen Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geschlungen ist, an welchem ein kleines Gewicht f hängt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger d befestigt, welcher auf dem Gradbogen $s h$ hin- und hergeht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instrumentes wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der größten Trockenheit, er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der größten Feuchtigkeit, er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Das auf diese Weise graduirte Hygrometer giebt zwar die äußerste Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft an, es zeigt, ob sich die Luft dem Sättigungspunkte mehr oder weniger nähert, man kann aber aus den Hygrometergraden keinen directen Schluß auf die Spannkraft des Wasserdampfes in der Atmosphäre machen. Wie groß die jedem Hygrometergrade entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft ist, kann nur auf empirischem Wege ermittelt werden.

Gay-Lussac verfuhr folgendermaßen: Er bestimmte zunächst die Spannkraft verschiedener Flüssigkeiten bei einer Temperatur von 10°; alsdann brachte er sein Instrument bei derselben Temperatur der Reihe nach mit diesen Flüssigkeiten unter die Glocke und notirte jedesmal die Grade, bei welchen sich das Instrument einstellte. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Flüssigkeit.	Specifisches Gewicht bei 10° C.	Spannkraft des Dampfes, wenn man die Spannkraft des Wasserdampfes bei 10° mit 100 bezeichnet.	Grade des Haarhygrometers, bei welchen sich der Zeiger für die verschiedenen Flüssigkeiten einstellte.
Wasser	1,000	100,0	100,0
Lösung von salzsaurem Natron .	1,096	90,6	97,7
desgl.	1,163	82,3	92,2
desgl.	1,205	75,9	87,4
Salzsaurer Kalk	1,274	66,0	82,0
desgl.	1,343	50,5	71,0
desgl.	1,397	37,6	61,3
Schwefelsäure	1,493	18,1	33,1
desgl.	1,541	12,2	25,3
desgl.	1,702	2,4	6,1
desgl.	1,848	0	0

Er fand also z. B., daß bei 10° die Dämpfe einer Auflösung von salzsaurem Kalk, deren specifisches Gewicht 1,274 ist, 66 Procent von der Spannkraft der Wasserdämpfe sind, welche bei derselben Temperatur über reinem Wasser sich bilden; wenn aber das Hygrometer unter eine Glocke gebracht wird, deren Wände mit dieser Lösung befeuchtet sind, so stellt es sich auf 82 Grad, man kann daraus den Schluß ziehen, daß der Theilstrich 82 des Hygrometers einen Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt, welcher 66 Procent des zur Sättigung nöthigen beträgt. Nach diesen Beobachtungen hat Gay-Lussac durch Interpolation eine Tabelle berechnet, welche den jedem einzelnen Hygrometergrade entsprechenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft angiebt. Wir geben hier diese Tabelle nur von 10 zu 10 Grad.

Hygrometergrade.	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft.
0	0
10	4,57
20	9,45
30	14,78
40	20,78
50	27,79
60	36,28
70	47,19
80	61,22
90	79,09
100	100,00

Wenn also das Hygrometer auf 60° steht, so enthält die Luft 36,28 Procent desjenigen Wasserdampfes, welchen sie enthalten müßte, um gesättigt zu seyn.

Diese Tabelle ist jedoch nur für Temperaturen ganz zulässig, welche nicht viel von 10° verschieden sind.

Regnault hat neuerdings auch Untersuchungen über das Haarhygrometer angestellt. Er fand es zweckmäßiger, die Haare mit Aether zu entfetten, statt sie in einer Sodalösung zu kochen, wie es Saussure angegeben hatte.

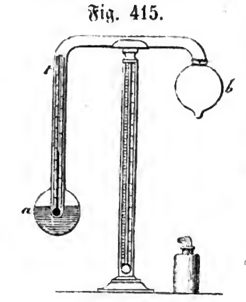
Er fand, daß Hygrometer, mit einerlei Art von Haaren construirt, welche auf gleiche Weise entfettet wurden, zwar nicht strenge übereinstimmend gehen, daß sie aber für die meisten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können; daß dagegen Hygrometer mit Haaren von verschiedener Natur und verschiedener Zubereitung sehr große Unterschiede in ihren Angaben zeigen können, selbst wenn sie an den Endpunkten mit einander stimmen.

Daraus geht klar hervor, daß man nicht eine für alle Haarhygrometer gültige Tabelle berechnen könne, sondern daß man eigentlich für jedes Instrument der Art Versuche in obiger Weise anstellen und aus diesen eine Tabelle berechnen müsse.

Daniel's Hygrometer ist Fig. 415 dargestellt; es besteht aus einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Ther- 207

mometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung des Aethers erkaltet, im Innern derselben werden Aetherdämpfe condensirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaßen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Fig. 415.



Die Entstehung dieses Thaues läßt sich leicht erklären. Wir haben schon oben gesehen, daß im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Gränze nicht übersteigen kann, daß das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,3 Millimeter (Theil II. Seite 332), und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,00001718; in einem luftleeren Raume von 1 Kubikmeter können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,18 Gramm Wasser in Form von Dampf enthalten seyn.

Wir haben aber ferner gesehen, daß in einem lufterfüllten Raume gerade ebenso viel Wasserdampf enthalten seyn kann als in einem gleich großen luftleeren Raume, und daß sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Kubikmeter Luft ebenfalls 17,18 Gramm Wasser als Dampf enthalten seyn.

Man sagt, die Luft sey mit Wasserdampf gesättigt, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äußeren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade so viel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Kubikmeter

Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° nur 13,63 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt, denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Kubikmeter Luft 17,18 Gramm Wasserdampf enthalten. Aus der angeführten Tabelle auf Seite 332 ersieht man aber, daß die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes bei 16° gleich 0,00001363 ist, für eine Temperatur von 16° wäre also die Luft gesättigt, man müßte also die Luft bis unter 16° erkalten, wenn eine Verdichtung von Wasserdampf stattfinden sollte.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes beginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heißt der Thaupunkt.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am Daniel'schen Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt diese Kugel an sich zu beschlagen; die Temperatur des Thaupunktes liest man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Die folgende Tabelle giebt den Wassergehalt der mit Dampf gesättigten Luft für den Thaupunkt von — 20° bis + 40° an.

Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Kubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Kubikmeter Luft.
	mm.	gr.		mm.	gr.
— 20°	1,3	1,5	10°	9,5	9,7
— 15	1,9	2,1	11	10,1	10,3
— 10	2,6	2,9	12	10,7	10,9
— 5	3,7	4,0	13	11,4	11,6
0	5,0	5,4	14	12,1	12,2
1	5,4	5,7	15	12,8	13,0
2	5,7	6,1	16	13,6	13,7
3	6,1	6,5	17	14,5	14,5
4	6,5	6,9	18	15,4	15,3
5	6,9	7,3	19	16,3	16,2
6	7,4	7,7	20	17,3	17,1
7	7,9	8,2	21	18,3	18,1
8	8,4	8,7	22	19,4	19,1
9	8,9	9,2	23	20,6	20,2

Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Kubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Kubikmeter Luft.
	mm.	gr.		mm.	gr.
24	21,8	21,3	33	36,2	34,3
25	23,1	22,5	34	38,3	36,2
26	24,4	23,8	35	40,4	38,1
27	25,9	25,1	36	42,7	40,2
28	27,4	26,4	37	45,0	42,2
29	29,0	27,9	38	47,6	44,4
30	30,6	29,4	39	50,1	46,7
31	32,4	31,0	40	53,0	49,2
32	34,3	32,6	»	»	»

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12° angiebt, so ersehen wir aus dieser Tabelle, daß jedes Kubikmeter Luft 10,7 Gramm Wasserdampf enthält; wäre der Thaupunkt 17°, so enthielte jedes Kubikmeter Luft 14,5 Gramm Wasserdampf u. s. w.

Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniel'schen Hygrometers lassen sich mit Recht folgende Einwendungen machen. Der Aether in der Kugel *a* ist an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen; die Handhabung des Apparates erfordert eine längere Anwesenheit des Beobachters in die Nähe desselben, wodurch sowohl die Temperatur als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welcher auf der Kugel *b* verdampft, äußert ebenfalls einen Einfluß auf den hygrometrischen Zustand der Luft, welcher noch dadurch verschlimmert wird, daß der käufliche Aether immer nicht ganz wasserfrei ist.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerksam gemacht, mit dem Daniel'schen Hygrometer genaue Resultate zu erhalten, er construirte ein anderes auf demselben Principe beruhendes Instrument, welches jedoch nicht so beachtet worden zu seyn scheint, wie es verdient. Seine Einrichtung ist im Wesentlichen folgende:

Ein kleines Gefäß von dünnem Messingblech, welches außen vergoldet ist, wird mit einem beweglichen Deckel geschlossen, durch welchen eine gekrümmte Röhre und ein kleines Thermometer *t* hindurchgehen; eine andere Röhre *b*, welche auf der Seite in das Gefäß eintritt, reicht bis auf den Boden desselben hinab. Durch das Rohr *c*, dessen unteres Ende

mit einer kleinen Druckpumpe in Verbindung steht und auf einen Tisch aufgeschraubt werden kann, wird Luft eingepumpt, welche, an dem unteren Ende von *b* austretend, in Blasen durch den Aether aufsteigt und dadurch seine rasche Verdampfung bewirkt, in Folge deren das Gefäß außen beschlägt. Die mit Aetherdämpfen gesättigte Luft entweicht durch die Röhre *a*. Hier hat der Aether schon seiner ganzen Ausdehnung nach gleiche Temperatur, weil er durch die Luftblasen in Bewegung gehalten wird. Die Druckpumpe kann durch eine mit Luft gefüllte Blase ersetzt werden.

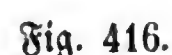
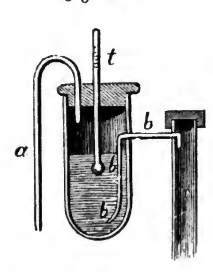


Fig. 416.



Vor Kurzem hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Verbesserung des eben besprochenen angesehen werden kann. Das Gefäß ist von polirtem Silberblech; das Rohr, welches die Stelle von *a* vertritt, führt zu einem entfernten kleinen Aspirator, welcher die Luft aus dem Gefäße aussaugt, während durch das andere Rohr, welches die Stelle von *b* vertritt, die Luft einströmt und in Blasen durch den Aether streicht. Der Beobachter steht am Aspirator und beobachtet das Silbergefäß und sein Thermometer mit dem Fernrohre. Je nachdem man den Ausfluß des Wassers aus dem Aspirator regulirt, strömt die Luft schneller oder weniger schnell durch den Aether, so daß man die Temperaturerniedrigung des Gefäßes ganz in seiner Gewalt hat und es beliebig lange auf constanter Temperatur erhalten kann. Wenn das Gefäß die Temperatur des Thaupunktes hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses am Aspirator hin, um den Beschlag des Gefäßes verschwinden zu machen, die geringste Beschleunigung des Ausflusses aber vermehrt den Beschlag.

Ein geübter Beobachter könnte selbst durch Saugen mit dem Munde den Aspirator entbehrlich machen.

August's Psychrometer ist Fig. 417 (a. f. S.) dargestellt; es besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel des anderen frei bleibt; wenn man die Hülle der einen Thermometerkugel mit Wasser befeuchtet, so wird das Wasser verdunsten, und zwar wird die Verdunstung um so rascher vor sich gehen, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden 208

Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das umwickelte Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schließen.

Fig. 417.



Wenn ein hinreichend starker Luftzug stattfindet, so wird sich die an der nassen Thermometerkugel vorbeistreichende Luft mit Wasserdampf sättigen, sie wird aber einen Theil ihrer Wärme zur Dampfbildung abgeben; das nasse Thermometer zeigt die Temperatur an, bis zu welcher die Luft an dieser Kugel erkaltet und für welche sie sich mit Wasserdampf sättigt. Nehmen wir an, das nasse Thermometer zeige 16⁰, so sehen wir daraus, daß die Luft, welche an der umwickelten Kugel vorbeistreicht, auf 16⁰ erkaltet wird, und daß sie dieselbe für diese Temperatur gesättigt verläßt. Wäre die ganze Luftmasse für die Temperatur von 16⁰ mit Wasserdampf gesättigt, so würde jedes Kubikmeter Luft 13,7 Gramm Wasserdampf enthalten; so viel Wasserdampf enthält sie aber in der That nicht, denn sie nimmt ja an der nassen Kugel, bis zu 16⁰ erkaltend, noch Wasserdampf auf; der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre ist also von der Art, daß jedes Kubikmeter Luft weniger als 13,7 Gramm Wasserdampf enthält.

Die Menge des Wasserdampfes, welche die Luft aufnimmt, indem sie an der nassen Kugel vorbeistreicht, hängt von der Wärmequantität ab, welche sie zur Dampfbildung abgiebt; diese Wärmequantität ist aber um so bedeutender, je stärker sie erkaltet wird, sie ist der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer proportional, und auch die Menge des Wasserdampfes, welchen die Luft aufnimmt, wenn sie am nassen Thermometer vorbeistreicht, können wir ohne merklichen Fehler dieser Temperaturdifferenz proportional setzen. Bezeichnen wir diese Temperaturdifferenz mit d, so können wir die Quantität des Wasserdampfes, welchen ein Kubikmeter Luft aufnimmt, welches nach und nach an der nassen Kugel vorbeistreicht, mit $c\,d$ bezeichnen.

Bezeichnen wir ferner mit M das Maximum des Wasserdampfes, welchen ein Kubikmeter Luft bei der Temperatur des nassen Thermometers enthalten kann, die Quantität des Wasserdampfes also, welchen die Luft wirklich enthält, welche am nassen Thermometer vorbeigestrichen ist, so besteht diese Quantität M aus zwei Theilen, der Quantität $c\,d$ nämlich,

welche sie an der Kugel aufgenommen hat, und der Quantität X, welche sie schon enthielt, es ist also

$$M = X + c\,d$$

oder

$$X = M - c\,d.$$

In dieser Formel bezeichnet, wie erwähnt, X den Wassergehalt der Luft, d die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, M den Wassergehalt der Luft, wenn sie für die Temperatur des nassen Thermometers gesättigt wäre, und c einen constanten Factor, welcher durch Versuche ermittelt werden muß.

Durch vergleichende Versuche mit dem Psychrometer und dem Daniel'schen Hygrometer ergiebt sich

$$c = 0{,}65.$$

Um nicht für jede Beobachtung erst den Wassergehalt der Luft berechnen zu müssen, hat man Tabellen berechnet, in welchen man, wie in der folgenden, für jede Lufttemperatur und jede beobachtete Differenz der beiden Thermometer den Wassergehalt der Luft gleich aufsuchen kann.

Temperatur der Luft.	Differenz des trockenen und befeuchteten Thermometers.											
Grade nach Celsius.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
— 20	1,5	0,8	0,1										
— 19	1,6	0,9	0,2										
— 18	1,8	1,0	0,3										
— 17	1,9	1,1	0,4										
— 16	2,0	1,2	0,5										
— 15	2,1	1,4	0,6										
— 14	2,3	1,5	0,8										
— 13	2,4	1,6	0,9	0,1									
— 12	2,6	1,8	1,0	0,3									
— 11	2,7	2,0	1,2	0,4									
— 10	2,9	2,1	1,3	0,6									
— 9	3,1	2,3	1,5	0,7									
— 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1								
— 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3								
— 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5								
— 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7								
— 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1							
— 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3							
— 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5							
— 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8							
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2						
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4						
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5						
+ 3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7						
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0						
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3					
+ 6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5					
+ 7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8	0,8					
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	1,1	0,2				
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,5				
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9				
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2			
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6			
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0			
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4		
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8		
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2	
+ 17	14,5	13,1	11,6	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9	1,7	0,7	
+ 18	15,3	13,8	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1	
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6	
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,2	
+ 21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7	
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3	
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,9	2,5
+ 24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5	3,1
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2	3,9
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9	4,6
+ 27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7	5,3
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5	6,1
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3	9,8	8,3	6,8
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1	7,7
+ 31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15,0	13,3	11,6	10,1	8,5
+ 32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16,1	14,3	12,7	11,0	9,4
+ 33	34,4	31,9	29,6	27,3	25,2	23,1	21,1	19,1	17,3	15,4	13,7	12,0	10,4
+ 34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6	14,8	13,1	11,4
+ 35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,8	16,0	14,2	12,5

Man findet in dieser Tabelle den Wassergehalt eines Kubikmeters Luft, in Grammen ausgedrückt, für die jedesmalige Lufttemperatur und die gleichzeitig beobachtete Differenz der beiden Thermometer, wenn man in der Horizontalreihe, deren äußerste Ziffer links die Lufttemperatur angiebt, bis zu der Vertikalreihe herübergeht, welche mit der beobachteten Differenz der beiden Thermometer überschrieben ist. So findet man z. B. für eine Lufttemperatur von 20°, wenn das nasse Thermometer auf 16° steht, wenn also die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer 4° ist, den Wassergehalt der Luft gleich 11,1, d. h. in diesem Falle enthält jedes Kubikcentimeter Luft 11,1 Gramm Wasserdampf.

Regnault hat durch zahlreiche Versuche nachgewiesen, daß die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer wesentlich von der Stärke des Luftzuges abhängt, daß das feuchte Thermometer in einem geschlossenen Raume nicht so tief sinkt, als wenn es dem Luftzuge ausgesetzt ist. Ebenso fand er, daß bei niedriger Temperatur und sehr feuchter Luft die aus den Angaben des Psychrometers berechneten Werthe des Wassergehaltes bedeutend von dem mittelst des Aspirators gefundenen abweichen; die in der Tabelle auf der vorigen Seite angegebenen Werthe des Wassergehaltes der Luft sind also wohl nur bei mittleren und höheren Temperaturen und nicht gar zu feuchter Luft als ziemlich genau zu nehmen.

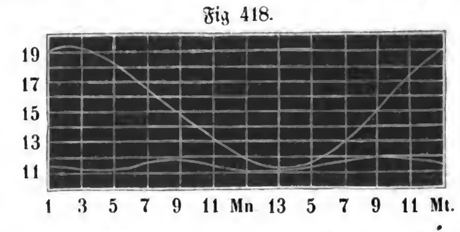
Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft. Da bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet seyn kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so läßt sich wohl erwarten, daß der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird. Die Gesetze der täglichen Variationen des Wassergehaltes der Atmosphäre sind besonders durch lange Versuchsreihen von Neuber in Apenrade, von Kupffer in Petersburg und von Kämtz in Halle und auf den Alpen ermittelt worden. 209

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Spannkraft für die einzelnen Stunden in den Monaten Januar, April, Juli und October an.

Stunden.	Januar.	April.	Juli.	October.
Mittag	4,29	6,15	11,62	8,27
1	4,32	6,05	11,42	8,29
2	4,34	6,08	11,32	8,23
3	4,33	6,09	11,22	8,15
4	4,28	6,09	11,18	8,10
5	4,25	6,09	11,25	8,06
6	4,24	6,12	11,36	8,10
7	4,22	6,15	11,68	8,07
8	4,20	6,13	11,76	7,96
9	4,18	6,10	11,75	7,88
10	4,15	6,05	11,67	7,80
11	4,14	6,03	11,52	7,72
Mitternacht	4,11	6,02	11,33	7,66
1	4,09	5,99	11,15	7,59
2	4,09	5,93	11,05	7,52
3	4,08	5,88	11,07	7,43
4	4,08	5,84	11,21	7,36
5	4,07	5,87	11,44	7,34
6	4,06	5,96	11,68	7,44
7	4,06	6,08	11,96	7,49
8	4,05	6,25	12,11	7,75
9	4,07	6,34	12,05	8,06
10	4,12	6,35	11,89	8,23
11	4,21	6,28	11,72	8,28
Mittel	4,17	6,08	11,52	7,87

Nach dieser Tabelle sind die Variationen des Wassergehaltes der Luft während eines Tages für den Monat Juli in Fig. 418 graphisch, und

Fig 418.



zwar in der unteren Kurve, dargestellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten der Spannkraft des Wasserdampfes proportional aufgetragen. Man sieht, daß der Wassergehalt der Luft zwei Maxima, gegen 9 Uhr Abends und gegen 9 Uhr Morgens, und zwei Minima, um 4 Uhr Nachmittags und kurz vor Sonnenaufgang, hat.

Wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur steigt, vermehrt sich auch die Menge des Wasserdampfes in der Luft, jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlaßter auf-

wärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so daß der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert; diese Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; nun nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil nun die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Grenze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufgangs.

Die obere Kurve der vorigen Figur zeigt uns das Maximum der Spannkraft, welches der Wasserdampf bei der jeder Stunde des Monats Juli entsprechenden mittleren Temperatur erreichen könnte. Da die beiden Kurven für die Zeit des Sonnenaufgangs sich einander sehr nähern, so ist also um diese Zeit die Luft sehr nahe mit Feuchtigkeit gesättigt. Mit steigender Temperatur nimmt nun zwar anfangs die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft zu, doch nicht im Verhältniß der Temperaturzunahme, der Wassergehalt der Luft entfernt sich immer mehr von dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungspunkte oder auch, mit anderen Worten, die Differenz zwischen der Temperatur der Luft und dem Thaupunkte wird immer größer.

Wir sagen, »die Luft ist trocken«, wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir »die Luft ist feucht«, wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heißen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Kubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sey sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Kubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten (siehe die Tabelle Seite 332), oder die Luft müßte bis auf 15° erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu seyn. Wenn sie dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende

Temperatur beinahe vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist und die geringste Temperaturerniedrigung schon einen Niederschlag zur Folge hat.

In diesem Sinne können wir also sagen, daß zur Zeit des Sonnenaufgangs die Luft am feuchtesten ist, obgleich der absolute Wassergehalt geringer ist als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen drei Uhr Nachmittags ist im Sommer die Luft am trockensten.

Die Zeit der beiden Maxima und der beiden Minima des Wassergehaltes der Luft fällt nahe mit den Wendestunden der täglichen Periode des Barometers zusammen, so daß man offenbar sieht, wie diese Perioden durch die Variationen des Wassergehaltes der Luft bedingt sind.

Auf hohen Bergen befolgen die Veränderungen im Dampfgehalte der Luft ein anderes Gesetz, weil der aufsteigende Luftstrom die Wasserdämpfe aus der Tiefe in die Höhe führt. Die unterste der beiden ausgezogenen Kurven Fig. 419 stellt nach den Beobachtungen von Kämtz die Veränderungen dar, welche die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes im Laufe eines Tages auf dem Rigi erleidet, während die untere der beiden punktirten Kurven die entsprechenden gleichzeitigen Veränderungen für Zürich darstellt. Zuerst sieht man bei der Betrachtung dieser Kurven, daß in Zürich der Wassergehalt der Luft während 24 Stunden 2 Maxima und 2 Minima hat, während in der Höhe, wie bei den täglichen Variationen des Barometerstandes, nur 1 Maximum und nur 1 Minimum stattfindet; auch in der Höhe nimmt der Wassergehalt der Luft von Sonnenaufgang an zu, diese Zunahme dauert aber bis Mittag, während in der Tiefe der Wassergehalt von 9 Uhr an schon wieder abnimmt, weil der aufsteigende Luftstrom, welcher die Abnahme des Wassergehaltes in der Tiefe veranlaßt, die dort weggeführten Dämpfe in die Höhe bringt. Von 3 Uhr Nachmittags an,

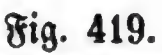
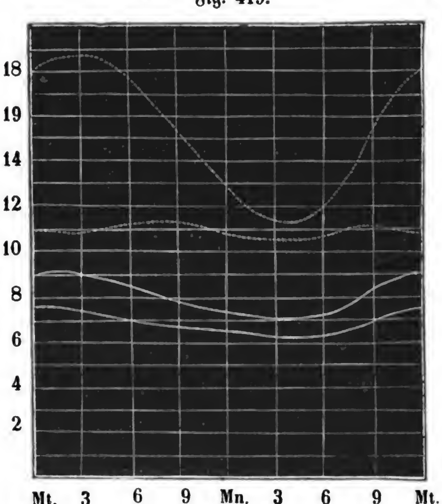


Fig. 419.



wenn die Stärke des aufsteigenden Luftstromes nachläßt, nimmt der Wassergehalt in der Tiefe wieder zu, in der Höhe nimmt er aber fortwährend ab, weil bei stets abnehmender Temperatur kein Wasserdampf mehr in die Höhe gebracht wird, sondern umgekehrt die Wasserdämpfe sich in die Tiefe senken. Die obere der beiden punktirten und die obere der beiden ausgezogenen Kurven geben an, wie groß zu jeder Stunde die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt seyn würde, wenn die Luft stets vollkommen gesättigt wäre. In der Höhe ist dieser Beobachtungsreihe zufolge die Luft viel feuchter, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte viel näher als in der Tiefe, denn die beiden Kurven sind für den Rigi fast parallel und nicht weit von einander entfernt, während die beiden auf Zürich sich beziehenden Kurven einen sehr ungleichen Lauf haben und für die Stunden vor und nach Mittag sehr weit von einander abstehen.

Man kann deshalb aber nicht allgemein den Satz aufstellen, daß die Luft in der Höhe feuchter sey, denn andere Beobachtungen ergeben das Gegentheil; so fanden z. B. Saussure auf den Alpen und Humboldt auf den südamerikanischen Gebirgen die Luft trockner als in der Tiefe. Bei heiterem Wetter scheint die Luft in der Höhe trockner zu seyn, bei trübem aber feuchter als unten, denn man sieht oft den Gipfel der Berge in Wolken gehüllt, während die unteren Luftschichten nicht mit Wasserdampf gesättigt sind.

Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft. Die folgende Tabelle giebt den mittleren Wassergehalt der Luft für die einzelnen Monate des Jahres zu Halle. 210

Monate.	Spannkraft des Wasserdampfes.	Relative Feuchtigkeit.
Januar . .	4,509mm	85,0
Februar. .	4,749	79,9
März . .	5,107	76,4
April . .	6,247	71,4
Mai . . .	7,836	69,1
Juni . . .	10,843	69,7
Juli . . .	11,626	66,5
August . .	10,701	66,1
September .	9,560	72,8
October . .	7,868	78,9
November .	5,644	85,3
December .	5,599	86,2

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum, er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zum Ende des Jahres.

Die letzte Columne dieser Tabelle unter der Ueberschrift »Relative Feuchtigkeit« giebt an, wieviel der in der Luft enthaltene Wasserdampf beträgt, wenn man die Quantität des Wasserdampfes, welche sich in der Luft befinden würde, wenn sie gesättigt wäre, mit 100 bezeichnet. Im December ist also im Durchschnitt die Luft am feuchtesten, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte am nächsten; im August aber ist die Luft am trockensten, obgleich ihr absoluter Wassergehalt in diesem Monate sehr groß ist, weil sie sehr weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Im August ist der Wassergehalt der Luft im Durchschnitt nur 61 Procent von der Quantität Wasserdampf, welche in der Luft enthalten seyn müßte, wenn sie bei der mittleren Temperatur dieses Monats gesättigt seyn sollte. In diesem Sinne sind also November, December, Januar und Februar die feuchtesten, Mai, Juni, Juli und August die trockensten Monate des Jahres.

211 **Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden.** Die Bildung des Wasserdampfes ist vorzugsweise von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegränzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, daß der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß und daß sie im Innern der großen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer. Die Hygrometerbeobachtungen, welche Humboldt und G. Rose in verschiedenen Gegenden von Sibirien gemacht haben, beweisen ebenfalls die außerordentliche Trockenheit der Atmosphäre in jenen Gegenden. In der Steppe von Platowskaya fanden sie, daß bei einer Temperatur von 23,7° die Differenz der beiden Thermometer des Psychrometers 11,7° betrug, während sie bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nur 5 bis 6° beträgt. Nehmen wir an, die Differenz der Thermometer hätte bei einer Temperatur von 24° nur 11° betragen, so würde nach der Tabelle auf Seite 566 jedes Kubikmeter Luft 4,5 Gramm Wasserdampf enthalten, eine Quantität, mit welcher die Luft erst bei —3° gesättigt ist; da aber die Temperaturdifferenz noch bedeutend größer war, als wir eben näherungsweise angenommen hatten, so war der Wassergehalt der Luft noch geringer, der Thaupunkt also noch unter —3°, die Luft hätte also um

mehr als 27° erkaltet werden können, ohne daß ein Niederschlag von Feuchtigkeit erfolgt wäre.

Der Thau. Es ist oben, auf Seite 561, erklärt worden, wie der feine Thau auf der glänzenden Kugel des Daniel'schen Hygrometers entsteht, wenn diese Kugel erkaltet wird. Ebenso erklärt sich die Thaubildung im Großen. 212

Wenn im Sommer nach Sonnenuntergang der Himmel heiter und die Luft ruhig bleibt, so werden die verschiedenen Gegenstände auf der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung gegen den Himmelsraum mehr und mehr erkalten, ihre Temperatur sinkt um 2, 3, ja manchmal um 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft herab, die kalten Körper erniedrigen auch die Temperatur der sie zunächst umgebenden Luftschichten; und wenn diese bis zum Thaupunkte erkaltet sind, so wird sich ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, daß manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch weil sie frei in die Luft hineinragen, so daß vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als Steine und den nackten Boden.

Eine Wolkendecke, welche den Himmel überzieht, hindert die Thaubildung, weil sie die nächtliche Strahlung hindert. Auch wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, thaut es nicht, weil er beständig von Neuem warme Luft mit den festen Körpern in Berührung bringt, wodurch diesen fortwährend Wärme zugeführt wird und die Luft an ihnen vorbeistreicht, ehe sie bis zum Thaupunkte erkaltet werden kann.

Der Reif ist nichts Anderes als ein gefrorner Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf mit kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf in physikalischem Sinne des Wortes, denn es ist ja ein verdichteter Dampf. 213

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit

kalten festen Körpern, sondern mitten in der Luft vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Großen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen gewöhnlich, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder der feuchte Boden wärmer sind als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Wassers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten sich alsbald wieder, wenn sie sich in der kälteren schon mit Wasserdämpfen gesättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Wassers und der Luft bilden sich keine Nebel, wenn die Luft trocken ist, so daß sich alle die Wasserdämpfe, welche vom Boden aufsteigen, in ihr verbreiten können, ohne sie zu sättigen.

Nach dem, was so eben über die Bildung des Nebels gesagt wurde, erklärt sich leicht, daß sich die Nebel vorzugsweise im Herbste über Flüssen und Seen und über feuchten Wiesen bilden. In England sind die Nebel besonders häufig, weil es von einem warmen Meere umspült ist; ebenso sind die warmen Gewässer des Golfstromes, welcher bis nach Neufoundland hinaufströmt, die Ursache der dort so häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter scheinbar ganz verschiedenen Umständen; so sieht man dichte Nebel über den Flüssen, während die Luft wärmer ist als das Wasser oder das Eis. In diesem Falle ist die warme Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, und wenn sie sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit dem kalten Wasser oder dem Eise schon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, so muß nothwendig eine Condensation des Wasserdampfes erfolgen.

Auf dieselbe Weise entstehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüssen und Seen. Die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und sobald sie sich an Orte verbreitet, an welchen die Frische des Wassers fühlbar ist, wird durch die Erkaltung der Wasserdampf verdichtet.

Der Nebel bildet sich jedoch nicht allein über Flüssen und Seen, sondern auch mitten im Lande, sobald durch Luftströmungen wärmere feuchte Luftmassen mit kälteren gemischt und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken sind nichts Anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, so wie denn Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar

schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muß die Luft ihrem Falle einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen; sie können sich jedenfalls nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Demnach müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, daß bei ruhigem Wetter sich die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabsenken müßten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke verschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet, in bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen; ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit größer ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden.

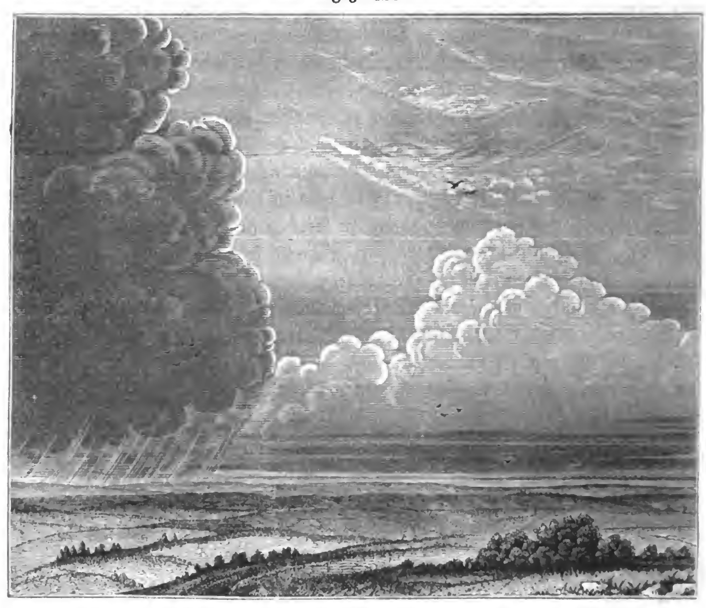
1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Fig. 420 sieht man sie in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet große halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen; diese Wolken erscheinen vorzugsweise im Sommer, manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die Schichtwolken, stratus, sind horizontale Wolkenstreifen (in

unserer Figur unter dem cumulus), welche vorzugsweise bei Sonnenuntergang mit außerordentlicher Farbenpracht erscheinen.

Fig. 420.



Diese Grundformen gehen auf mannigfaltige Weise in einander über; Howard hat diese Uebergangsformen durch die Namen cirro-cumulus, cirro-stratus, cumulo-stratus und nimbus bezeichnet.

Die fedrige Haufenwolke, cirro-cumulus, ist der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke, es sind die kleinen, weißen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt sind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerstreut, sondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden sind, so bilden sie die fedrige Schichtwolke, cirro-stratus, welche, wenn sie nahe am Horizonte stehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die cirro-stratus den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifige Haufenwolke, cumulo-stratus, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauschwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in unserer Figur links), übergehen.

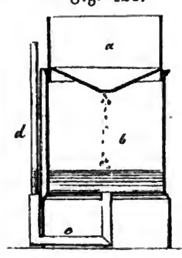
Wenn man bedenkt, wie außerordentlich mannigfaltig an Gestalt sowoh als auch an Farbe die verschiedenen Wolken seyn können, so begreift man wohl, daß es oft schwierig ist zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem andern Typus nähert.

Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20000 Fuß bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, daß die cirrus nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Schneeflöckchen bestehen.

Die Haufwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt und dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, daß sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist, und gegen Abend der Himmel wieder heiter wird, weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom wieder aufhört; in tieferen, wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufwolken gehen dann mehr und mehr in cumulo-stratus über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen größer und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfließen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens größer, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Fig. 421.



Regenmenge. Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte der Erde im Laufe eines Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer oder Udometer genannt. Die Fig. 421 stellt den gewöhnlichen Regenmesser dar; er besteht aus einem Blechcylinder *b*, welcher 15 bis 20 Centimeter im Durchmesser hat und auf welchem ein zweiter Cylinder *a* mit trichterartigem Boden aufgesetzt 214

wird. In der Mitte dieses Trichters befindet sich eine Oeffnung, durch welche alles Wasser, welches in Form von Regen in den oben offenen Cylinder a hineinfällt, in das Behälter b abfließt. Durch eine gekrümmte Röhre c steht das Behälter b mit einer Glasröhre d in Verbindung, vermittelst deren man jederzeit erkennen kann, wie hoch das Wasser in b steht. Vorausgesetzt, daß die Querschnitte von a und b gleich, oder doch nicht merklich verschieden sind, giebt die Höhe der Wasserschicht in b an, wie hoch sich der Boden in einer gewissen Zeit bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeschluckt oder verdunstet wäre.

In Frankfurt a. M. wurden in verschiedenen Monaten der Jahre 1840 bis 1843 folgende Regenmengen beobachtet:

	1840.	1841.	1842.	1843.	Mittel.
Januar . . .	2″ 3‴	3″ 9‴	1″ 2‴	3″ 0‴	2″ 4‴
Februar . . .	1 1	10	4	1 10	1
März	10	1 3	3 2	6	1 5
April	2	1 3	4	1 10	11
Mai	10	1 6	1 8	3 11	2
Juni	2 2	3 1	9	5 6	2 10
Juli	2 1	1 9	1 11	2 10	2 2
August	10	3 1	4 2	3 7	2 11
September . .	2 5	2 2	2 1	2	2
October . . .	1 9	5	1 3	2 10	1 9
November . .	4 3	2 8	2 9	2 2	2 11
December . .	8	3 2	7	9	1 3

Daraus ergeben sich für die verschiedenen Jahreszeiten der erwähnten 4 Jahre die Regenmengen wie folgt:

	1840.	1841.	1842.	1843.	Mittel.
Winter . . .	7″ 1‴	5″ 3‴	4″ 8‴	5″ 5‴	5″ 6‴
Frühling . .	1 2	4	5 2	6 3	4 2
Sommer . . .	5 1	7 11	6 10	11 11	7 11
Herbst	8 5	9 10	6 1	5 2	7 4
Jahr	21″ 9‴	27″	22″ 9‴	28″ 9‴	24″ 11‴

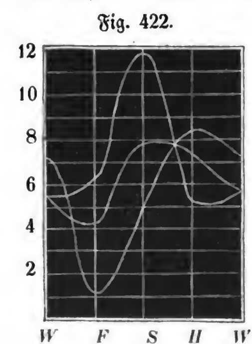
Hier ist, um die Regenmenge des Winters zu erhalten, der des Januars und Februars eines jeden Jahres die Regenmenge des Decembers im vorhergehenden Jahre zugezählt.

Man sieht also, wie wohl vorauszusehen war, daß die Regenmenge von einem Jahre zum anderen sich ändert und daß sie in Frankfurt a. M. nach diesen 4 Jahren im Durchschnitt 24 Zoll 11 Linien (altfranz. Maaß) beträgt. In den Jahren 1841 und 1843 fiel mehr, in den beiden anderen Jahren aber weniger Regen.

Die Regenmenge ist nicht gleichförmig auf die vier Jahreszeiten vertheilt, durchschnittlich fällt im Sommer am meisten, 7″ 11‴, im Frühjahr am wenigsten, 4″ 2‴, Regen.

In Fig. 422 stellt die mittlere Kurve die durchschnittliche Vertheilung des Regens auf die 4 Jahreszeiten dar. Die obere Kurve stellt die Regenmenge der verschiedenen Jahreszeiten für 1843, die untere für 1840 dar. Im Jahre 1843 sieht man das Maximum der Regenmenge im Sommer sehr hoch steigen; dieser Sommer war sehr feucht; im Jahre 1840 dagegen blieb die Regenmenge des Sommers weit unter dem Mittel; in diesem Jahre regnete es aber im Herbste sehr viel.

Fig. 422.



Um die wahren Mittelzahlen für die Vertheilung des Regens an irgend einem Orte zu erhalten, muß man eine möglichst große Reihe von Beobachtungszahlen combiniren.

Die folgenden Tabellen geben die Regenverhältnisse verschiedener Orte in Europa.

1. Portugal.

	Lissabon.	Coimbra.	Mafra	Funchal auf Madeira.
Jährl. Regenmenge	25,4 P.Z.	111,5	41,5	26,0
Im Winter	30,9 Proc.	21,0	53,4	50,6
» Frühling	33,9	18,6	27,5	16,3
» Sommer	3,4	17,6	2,7	2,8
» Herbst	22,8	42,8	16,4	30,3

II. Westliches und südliches England.

	Insel Man	Bristol	Liverpool	Manchester	Lancaster	Dover
Jahr . .	34,8	21,8	32,3	23,9	37,2	44,1
Winter .	27,3	20,5	21,6	24,0	26,2	30,3
Frühling	18,2	23,8	17,9	20,0	16,1	20,1
Sommer .	19,7	23,2	27,7	27,0	28,3	21,6
Herbst . .	34,8	32,5	32,9	29,0	29,4	28,0

III. Inneres und östliches England.

	Oxford	London	Dumfries	Glasgow	Edinburg	Chattsworth
Jahr . .	20,6	23,4	34,7	20,0	23,3	25,9
Winter .	21,9	23,6	24,6	24,9	23,4	23,2
Frühling	19,3	22,4	18,3	17,8	19,9	19,9
Sommer	24,4	23,5	25,5	29,9	26,8	27,9
Herbst . .	34,4	30,5	31,6	27,3	29,9	28,9

IV. Westküste von Frankreich und die Niederlande.

	Bordeaux	La Rochelle	Franecker	Rotterdam	Breda	Middelburg
Jahr . .	24,3	24,2	28,6	21,2	24,7	25,4
Winter .	27,7	28,2	21,9	16,5	23,2	21,8
Frühling	21,4	19,7	16,8	22,3	18,0	14,1
Sommer .	24,1	17,9	28,8	29,8	23,9	31,5
Herbst . .	26,7	34,2	32,5	31,9	34,9	32,6

V. Westrheinische Gegenden.

	Paris	Brüssel	Cambray	Metz	Troyes	Straßburg	Coblenz
Jahr	20,8	17,9	16,0	27,2	22,4	25,6	20,9
Winter . . .	20,7	18,7	13,8	21,6	18,7	16,0	16,2
Frühling . .	25,0	23,7	21,9	25,2	27,4	23,6	24,0
Sommer. . .	30,5	30,7	33,4	21,1	28,1	34,1	35,0
Herbst	23,8	26,9	30,9	31,1	25,8	26,3	24,9

VI. Deutschland.

	Manheim.	Stuttgart.	Ulm.	Regensburg.	Tegernsee.	Göttingen.	Erfurt.
Jahr	21,0	23,7	25,1	21,1	43,8	24,9	12,6
Winter ...	18,3	20,1	21,3	19,3	16,4	18,4	15,5
Frühling ..	23,7	19,8	19,5	17,7	18,5	18,1	21,7
Sommer ...	32,6	33,5	36,6	40,1	44,7	35,9	41,0
Herbst	25,4	26,6	22,6	22,9	20,4	27,6	21,8

VII. Schweden und Dänemark.

	Bergen.	Copenhagen.	Stockholm.	Upsala.	Abo.	Petersburg.
Jahr...	83,2	17,3	19,2	16,7	24,2	17,1
Winter .	26,6	19,1	14,8	17,4	17,7	13,6
Frühling	17,9	15,4	13,3	21,0	18,3	19,4
Sommer	21,0	37,7	38,0	32,8	28,0	36,5
Herbst ..	34,5	27,8	33,9	28,8	36,0	30,5

VIII. Südöstliches Frankreich und die Schweiz.

	Marseille.	Toulon.	Nimes.	Viviers.	Joyeuse.	Bourg en Bresse.	Toulouse.	Dijon.	Genf.	Bern.	Zürich.
Jahr ..	20,6	17,5	23,7	33,9	47,7	43,3	23,7	23,9	29,8	43,2	32,2
Winter .	20,8	23,0	22,3	19,4	20,3	20,8	21,0	17,9	21,6	20,9	20,3
Frühling	22,3	24,1	24,0	22,2	23,1	24,6	26,2	25,6	21,8	20,0	23,6
Sommer	12,5	9,3	13,9	20,0	16,2	24,4	24,0	27,6	29,7	35,1	33,3
Herbst .	44,4	43,6	39,8	38,4	40,4	30,2	28,8	28,9	26,9	24,0	22,8

IX. Italien.

	Palermo.	Rom.	Genua.	Florenz.	Siena.	Mailand.	Verona.	Padua.	Rovigo.
Jahr	20,7	29,3	44,4	38,7	32,0	35,5	34,6	34,6	30,8
Winter	39,1	31,0	27,2	35,7	19,7	21,1	18,3	19,0	31,0
Frühling	24,3	24,9	28,6	20,9	26,2	24,1	25,4	26,4	27,4
Sommer	5,5	9,7	9,2	12,9	18,2	23,9	26,1	25,6	14,3
Herbst	31,1	34,3	35,0	30,5	36,9	30,9	30,2	29,0	27,3

Die erste Horizontalreihe einer jeden dieser Tabellen giebt die jährliche Regenmenge in Pariser Zollen an, die folgenden Horizontalreihen aber geben an, wieviel Procente der jährlichen Regenmenge auf die einzelnen Jahreszeiten kommen.

Aus der Betrachtung dieser Tabellen ergiebt sich zunächst, daß sich Europa in Beziehung auf die Vertheilung des Regens in drei Provinzen theilen läßt.

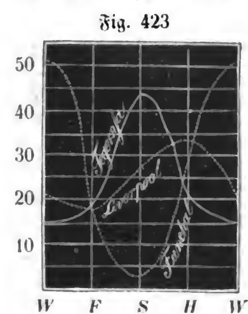
In England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

In Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden herrschen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen fehlen im südöstlichen Frankreich, Italien, dem südlichen Portugal, überhaupt in dem Theile Europa's, welcher Afrika zunächst liegt, fast ganz.

Diese Unterschiede in der Vertheilung der Regenmenge sind in Fig. 423 durch Kurven anschaulich gemacht, welche die Vertheilung des Regens auf die vier Jahreszeiten an drei Orten darstellen, an welchen der Charakter der erwähnten drei Provinzen sehr entschieden hervortritt. Als Ordinaten sind die Procente der jährlichen Regenmenge genommen, welche auf jede der vier Jahreszeiten kommen.

Fig. 423



Im Allgemeinen nimmt die Regenmenge mit der Entfernung vom Meere ab; bezeichnen wir die jährliche Regenmenge in Petersburg mit 1, so ist die jährliche Regenmenge

in den Ebenen von Deutschland . . .	1,2
im Innern von England	1,4
an den Küsten von England	2,1.

Die Regenmenge nimmt mit der Höhe der Orte über der Meeresfläche zu, weil die Berge einen Niederschlag veranlassen, wenn sie von einem Strome feuchter Luft getroffen werden; daher die bedeutende Regenmenge in den Alpen.

An einem und demselben Orte nimmt die Regenmenge mit der Höhe über dem Boden ab, wahrscheinlich weil die Regentropfen, indem sie durch die mit Wasserdampf gesättigte Luft herabfallen, sich fortwährend vergrößern; so fallen z. B. im Hofe des Observatoriums zu Paris im Laufe eines Jahres durchschnittlich 57^{cm}, auf der 28 Meter höher liegenden Terasse nur 50^{cm} Regen.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa

im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitt kommen auf das Jahr

im südlichen Europa . . . 120 Regentage
» mittleren » . . . 146 »
» nördlichen » . . . 180 »

Daß die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar, denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch, wie viel es regnet. Wenn in nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., daß in Petersburg die Zahl der Regentage zwar größer, die Regenmenge aber geringer ist.

Mit der Entfernung vom Meere nimmt sowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg . . . 168
» Kasan 90
» Jakutzk. 60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch ist die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so groß als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen als sonst in mehreren Wochen.

Regen zwischen den Wendekreisen. Da, wo die Passatwinde mit 215 großer Regelmäßigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmäßigkeit des Passates gestört durch die Intensität des aufsteigenden Luftstromes, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist.

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am größten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende April fängt ei-

gentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe, sie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Ostindien, wo die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden wir auch anormale Regenverhältnisse; an der steilen Westküste von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Winters zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südwestmoussons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstoßen. Während es auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Himmel heiter, hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordostpassat, also gerade zu der Zeit ein, zu welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse Statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Masse von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag aber bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich meist unter heftigen Windstößen und elektrischen Entladungen eine ungeheure Regenmenge entströmt. Gegen Abend zerstreut sich das Gewölk, und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

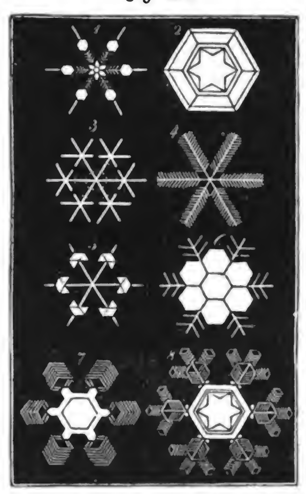
Die jährliche Regenmenge ist im Allgemeinen in den Tropen sehr groß, sie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leone 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havanna 85,7 und in Grenada 105 Pariser Zoll. Bedenkt man nun, daß der Regen meist nur auf wenige Monate vertheilt ist und daß es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, so ist klar, daß der Regen sehr stark seyn muß. In Bombay fiel an einem Tage 6 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen sind sehr groß und fallen mit solcher Geschwindigkeit nieder, daß sie auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl erzeugen.

216 **Schnee und Hagel.** Ueber die Bildung des Schnees weiß man bis jetzt noch sehr wenig. Wahrscheinlich bestehen die Wolken, in denen sich die Schneeflocken zuerst bilden, nicht aus Dunstbläschen, sondern aus feinen Eiskryställchen, welche durch fortwährende Condensation von Wasser-

dämpfen größer werden und so Schneeflocken bilden, welche selbst noch beim Herabfallen durch die unteren Luftschichten wachsen. Sind die unteren Luftregionen zu warm, so schmelzen die Schneeflocken, ehe sie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben schneit.

Auf die regelmäßige Gestalt der Schneeflocken, welche man am besten beobachten kann, wenn man sie auf einem dunklen unter 0° erkalteten Körper auffängt, hat schon Keppler aufmerksam gemacht. Scoresby hatte Gelegenheit, in den Polarregionen eine Menge interessanter Untersuchungen über die Gestalt der Schneeflocken zu machen. Sein Werk enthält gegen 100 verschiedene Figuren, von welchen einige der interessantesten in Fig. 424 zusammengestellt sind.

Fig. 424.



Schon eine oberflächliche Betrachtung dieser Figuren zeigt, daß sich alle diese Gestalten im Wesentlichen auf einen regelmäßigen sechsseitigen Stern zurückführen lassen, wonach denn die Schneeflocken dem hexagonalen Krystallsysteme (dem Krystallsysteme des Bergkrystalls) angehören. Auch das Eis, wie es die Oberfläche der Flüsse und Seen bedeckt, hat eine diesem Krystallsysteme entsprechende Structur, wenn man auch keine eigentlichen Krystallflächen an demselben beobachten kann, wie dies durch die optischen Eigenschaften des Eises schon oben, Bd. I. Seite 581, dargethan wurde.

Der Graupelregen, den man gewöhnlich im März und im April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen.

Der Hagel ist eine der furchtbarsten Geißeln für den Landmann und eins der schwierigsten Phänomene für den Meteorologen. Wir benutzen in der folgenden Darstellung einen interessanten Artikel, welchen Arago über diesen Gegenstand in dem Annuaire du bureau des longitudes für 1828 bekannt gemacht hat.

Die gewöhnliche Größe der Hagelkörner ist die einer Haselnuß; sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet, oft sind sie aber auch noch weit größer und zerschmettern

dann Alles, was sie treffen. Alte Chroniken erzählen von Hagelkörnern, welche so groß gewesen seyn sollen wie Elephanten; ohne uns bei solchen fabelhaften Erzählungen aufzuhalten, wollen wir sogleich zur Aufzählung zuverlässiger Nachrichten übergehen.

Halley erzählt, daß am 9. April 1697 Hagelkörner fielen, welche 10 Loth wogen; Robert Taylor hat am 4. Mai 1697 Hagelkörner gemessen, deren Durchmesser 4 Zoll betrug. Montignot sammelte den 11. Juli 1753 zu Toul Hagelkörner, welche 3 Zoll Durchmesser hatten. Volta versichert, daß man unter den Hagelkörnern, welche in der Nacht vom 19. auf den 20. August 1787 die Stadt Como und ihre Umgebungen verwüsteten, einige gefunden habe, welche 18 Loth wogen. Nach Nöggerath fielen während des Hagelwetters vom 7. Mai 1822 zu Bonn Hagelkörner, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Diese Zeugnisse beweisen zu Genüge, daß manchmal Hagelkörner fallen, welche über $1/_2$ Pfund schwer sind.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit einer durchsichtigen Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal einzelne concentrische Schichten unterscheiden lassen; bisweilen beobachtet man abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Eisschichten, endlich hat man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Pouillet fand, daß die Temperatur der Hagelkörner —0,5 bis —4° beträgt.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten dauert es $1/_4$ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer; die Erde ist manchmal mehrere Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tage als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben, denn sie verbreiten in der Regel eine große Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, daß sie eine eigenthümliche grauröthliche Farbe besitzen, daß an ihrer unteren Grenze große Wolkenmassen herabhängen und daß ihre Ränder vielfach zerrissen erscheinen.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfters unter sich Wolken, welche die Thäler mit Hagel

überschütten; ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, läßt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Um einen Begriff zu geben, wie weit und wie schnell sich diese furchtbare Geißel verbreiten kann, mögen hier einige nähere Angaben über das Hagelwetter folgen, welches den 13. Juli 1788 Frankreich und Holland durchzog.

Das Hagelwetter verbreitete sich gleichzeitig in zwei perallelen Streifen; der östliche Streifen war schmäler, seine größte Breite betrug 5, seine geringste ½ Meile (lieue = 2300 Toisen); der westliche Streifen war an seiner schmalsten Stelle 3, an seiner breitesten 5 Meilen breit. Diese beiden Streifen waren durch einen im Durchschnitt 5¼ Meilen breiten Streifen getrennt, auf welchem es nur regnete..

Die Richtung dieser Streifen ging von Südwest nach Nordost. Eine von Amboise nach Mecheln gezogene gerade Linie bildete ungefähr die Mitte des östlichen, eine andere von der Mündung des Indre in die Loire bis Gent gezogene bildete ungefähr die Mitte des westlichen Streifens.

Auf dieser ganzen Länge, welche über 100 Meilen beträgt, fand keine Unterbrechung des Gewitters Statt, und sicheren Angaben zufolge kann man annehmen, daß es sich noch 50 Meilen weiter nach Süden und 50 Meilen weiter nach Norden erstreckte, so daß seine Totallänge über 200 Meilen betrug. Es verbreitete sich mit einer Geschwindigkeit von 16 Meilen in der Stunde von den Pyrenäen, wo es seinen Anfang genommen zu haben scheint, bis zum baltischen Meere, wo man seine Spuren verlor.

An jedem Orte fiel der Hagel nur 7 bis 8 Minuten lang, die Hagelkörner waren theils rund, theils zackig; die schwersten wogen 16 Loth.

Die Zahl der in Frankreich verwüsteten Pfarrdörfer betrug 1039; der Schaden, welchen das Wetter anrichtete, wurde nach officiellen Angaben auf 24690000 Franken geschätzt.

Was die Erklärung des Hagels betrifft, so bietet sie zwei Schwierigkeiten; nämlich woher die große Kälte kommt, welche das Wasser gefrieren macht, und dann, wie es möglich ist, daß die Hagelkörner, wenn sie einmal so groß geworden sind, daß sie eigentlich durch ihr Gewicht herabfallen müßten, noch so lange in der Luft bleiben können, daß sie zu einer so bedeutenden Masse erwachsen können.

Was die erste Frage betrifft, so meinte Volta, daß die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung solle nun

so viel Wärme gebunden werden, daß das Wasser in den tieferen Wolkenschichten gefriert. Wenn aber die Verdunstung des Wassers in den oberen Wolkenschichten durch die Wärme der Sonnenstrahlen veranlaßt wird, so ist nicht einzusehen, warum durch diese Verdunstung den tieferen Wolkenschichten so viel Wärme entzogen werden soll.

In Beziehung auf die zweite Frage schlug Volta eine in der That geistreiche Theorie vor, welche auch eine große Celebrität erlangt hat; er nimmt an, daß zwei mächtige, mit entgegengesetzter Elektricität geladene Wolkenschichten über einander schweben. Wenn nun die noch sehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, so werden sie bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und sich mit einer neuen Eisschicht umgeben; sie werden sich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieser zurückgestoßen, während die obere sie anzieht; sie steigen also trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo sich derselbe Vorgang wiederholt; so fahren sie eine Zeitlang zwischen den beiden Wolken hin und her, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Gegen diese Ansicht läßt sich einwenden, daß es schwer denkbar ist, wie die Elektricität ohne eine plötzliche Wirkung, also ohne einen Entladungsschlag, so große Eismassen in die Höhe zu heben vermag, und daß, wenn wirklich die elektrische Ladung der beiden Wolken auch so stark seyn sollte, die Elektricität augenblicklich von einer zur andern übergehen müßte, namentlich da ja die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwischen ihnen herstellen.

Fünftes Kapitel.

Optische Erscheinungen der Atmosphäre.

217 **Farbe des Himmels.** Der heitere Himmel erscheint uns blau, und zwar ist dieses Blau je nach dem Zustande der Atmosphäre bald heller und weißlicher, bald dunkler; auf hohen Bergen erscheint der Himmel sehr dunkelblau, ja fast schwarz. Es ist dies leicht zu erklären; wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, wenn die einzelnen Lufttheilchen gar kein Licht reflectirten oder vielmehr zerstreuten, so müßte uns der Himmel vollkommen schwarz erscheinen, die Sonne, der Mond, die Sterne würden glänzend auf dem schwarzen Grunde stehen; nun aber reflectiren die Lufttheilchen das Licht, und so kommt es, daß bei Tage der ganze Himmel hell erscheint, weil die von der Sonne erleuchteten Lufttheilchen das Licht nach allen Seiten hin zerstreuen. Diese Erleuchtung der Atmosphäre durch die

Sonnenstrahlen ist die Ursache, daß wir die Sterne bei Tage nicht sehen können. Die Lufttheilchen reflectiren vorzugsweise das blaue Licht, und deshalb erscheint uns der an und für sich dunkle Himmelsraum mit Blau überzogen. Je höher wir uns in die Atmosphäre erheben, desto dünner wird dieser blaue Ueberzug und desto dunkler wird uns also auch der Himmel erscheinen; so erscheint auch im Zenith der Himmel stets am dunkelsten blau und gegen den Horizont mehr weißlich.

Das reine Blau des Himmels wird besonders durch die in der Luft schwebenden condensirten Wasserdämpfe gebleicht, durch feine Nebel, welche oft den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu seyn, um als Wolken zu erscheinen.

Die Erscheinungen der Abend- und Morgenröthe wurden dadurch erklärt, daß man sagte, die Luft lasse vorzugsweise die rothen und gelben Strahlen durch, sie reflectire aber die blauen; des Abends und des Morgens haben aber die Sonnenstrahlen einen sehr weiten Weg durch die Atmosphäre zurückzulegen, daher die rothe Färbung der durchgelassenen Strahlen, welche besonders brillant ist, wenn Wolken durch diese Strahlen beleuchtet werden.

Forbes hat gezeigt, daß diese Meinung nicht ganz richtig seyn kann, indem das Blau des Himmels durchaus nicht die complementäre Farbe des Abendrothes ist. Nach Forbes rührt das Abend- und Morgenroth nicht von der Luft selbst, sondern von dem in derselben enthaltenen Wasserdampfe her.

Eines Tages stand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch sein Sicherheitsventil eine große Menge Dampf entließ; zufällig sah er durch die aufsteigende Dampfsäule nach der Sonne und war überrascht, sie sehr tief orangeroth gefärbt zu sehen. Später beobachtete er noch öfters dasselbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung desselben. Einige Fuß über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausblies, war dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in größerer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet war, hörte die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mäßiger Dicke war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie warf einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering war, so war sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes scheint also einer besondern Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgestalt ist der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos, in jenem Uebergangszustande ist er durchsichtig und rauchroth, wenn er aber vollständig zu Nebelbläschen verdichtet ist, so ist er bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei großer Dicke vollkommen undurchsichtig.

Forbes wendet dies zur Erklärung der Abendröthe an. Als reine, farblose, elastische Flüssigkeit giebt der Wasserdampf der Luft ihre größte Durchsichtigkeit, wie man sie besonders beobachtet, wenn sich nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszustande läßt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in diesem Zustande die Erscheinungen der Abendröthe hervor.

Diese Theorie erklärt auch sehr gut, daß das Abendroth weit brillanter ist als das Morgenroth; daß Abendroth und Morgengrau die Anzeigen schönen Wetters sind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftschichten in verschiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor sich aber in Folge dessen der Wasserdampf vollständig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszustand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens ist es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Processes wahrscheinlich das Roth erzeugt haben würden, steigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne lange genug angehalten hat, alsdann ist aber die Zeit des Sonnenaufgangs vorüber, die Sonne steht schon hoch am Himmel. Das feurige Ansehen des Morgenhimmels rührt von der Anwesenheit eines solchen Ueberschusses an Feuchtigkeit her, daß durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entstehen, im Gegensatze mit der Tendenz der steigenden Sonne, sie zu zerstreuen; das Morgenroth ist deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten.

Wenn die Sonne am westlichen Horizonte verschwunden ist, so tritt nicht plötzlich die Dunkelheit ein, sondern eine Dämmerung, welche nach Umständen bald längere, bald kürzere Zeit dauert. Diese Dämmerung rührt daher, daß die Luft am westlichen Himmel und die in ihr schwebenden Wassertheilchen noch lange von der Sonne beschienen werden, nachdem sie unseren Blicken schon verschwunden ist, und daß diese erleuchteten Luft- und Wassertheilchen uns noch ein allmälig mehr und mehr abnehmendes Licht zusenden. In unseren Gegenden dauert die Dämmerung ungefähr bis die Sonne 18° unter dem Horizonte ist. Die längere Dauer der Dämmerung in höheren Breiten rührt besonders daher, daß die Sonnenbahn dort sehr stark gegen den Horizont geneigt ist und daß es deshalb sehr lange dauert, bis die Sonne 18° unter dem Horizonte steht. Je mehr wir uns dem Aequator nähern, desto weniger schräg ist die Sonnenbahn gegen den Horizont; unter dem Aequator selbst macht sie einen rechten Winkel mit demselben; in den heißen Ländern ist deshalb die Dämmerung von kürzerer Dauer. In Italien ist sie kürzer als bei uns; in Chili dauert sie nur 1/4 Stunde, in Cumana nur einige Minuten. Diese so sehr kurze Dauer der Dämmerung läßt sich nicht allein durch die Rich-

tung der Sonnenbahn gegen den Horizont erklären, sie hat zum Theil auch in der außerordentlichen Reinheit des Himmels ihren Grund, denn in unseren Gegenden tragen die zarten, hoch in der Luft schwebenden Nebel, welche bei Tage den Himmel mit einem Schleier überziehen, die Lichtstrahlen aber stark reflectiren, sehr zur Verlängerung der Dämmerung bei.

Luftspiegelung. Wenn man entfernte Gegenstände betrachtet, so 218 sieht man bisweilen noch gerade, schiefe oder umgekehrte Bilder derselben. Diese Bilder, welche ohne sichtbaren Spiegel hervorgebracht werden, nennt man Luftbilder.

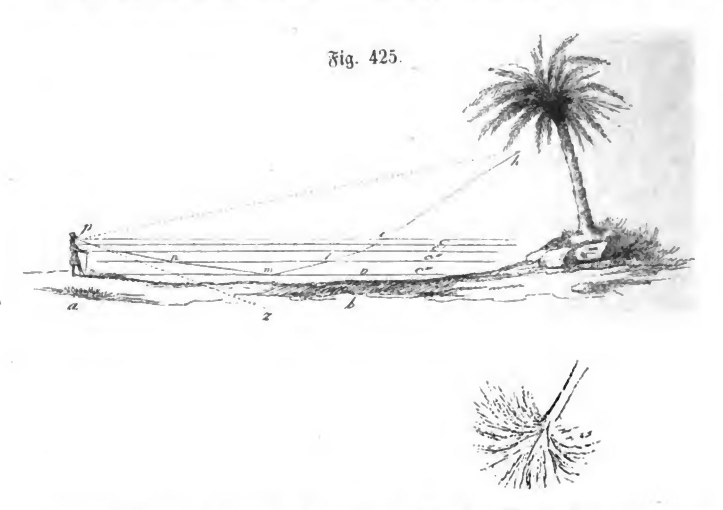
Wir wollen uns zunächst mit dieser Erscheinung beschäftigen, wie sie in den Ebenen von Aegypten beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher sich zur Zeit der Ueberschwemmung die Gewässer des Nils verbreiten. An den Ufern des Flusses und bis auf eine große Entfernung gegen die Wüste hin sieht man kleine Erhöhungen, auf welchen sich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich ist die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erscheinen alle entfernten Gegenstände scharf und deutlich, sobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenstrahlen erhitzt wird und die unteren Luftschichten an dieser hohen Temperatur Theil nehmen, so entsteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge sehr merklich ist und welche auch in unseren Gegenden an heißen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun kein Wind geht und die Luftschichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während sie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, so entwickelt sich das Phänomen der Luftspiegelung in seiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne schaut, sieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenstände, unterhalb derselben sieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden sehen zu können, auf welchem sie sich erheben; alle diese Gegenstände erscheinen ihm also, als ob sie sich mitten in einem ungeheuren See befänden. Diese Erscheinung wurde während der französischen Expedition in Aegypten oft beobachtet, sie war für die Soldaten ein ganz neues Schauspiel und eine grausame Täuschung. Wenn sie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuser und Palmbäume sahen, so konnten sie nicht zweifeln, daß alle diese Bilder durch die Oberfläche eines Sees gespiegelt seyen. Ermüdet durch forcirte Märsche, durch die Sonnenhitze und eine mit Sand beladene Luft, liefen sie dem Ufer zu, aber dieses Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Ansehen von Wasser hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen

Gegenstände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuscht, aber die Täuschung war von kurzer Dauer. Monge entdeckte auf der Stelle die wahre Ursache.

Bei starker Sonnenhitze und ruhiger Luft ist es möglich, daß die unteren Luftschichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit besitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufsteigen. Dies vorausgesetzt, sey *a b*, Fig. 425, der horizontale Boden, *h* irgend ein erhabener Punkt. Wir wollen nun untersuchen, auf welche Weise das Licht von *h* in das Auge des in *p* befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächst ist klar, daß das Auge ein directes Bild des Punktes *h* in der Richtung *p h* sieht, die Strahlen werden zwar nicht in einer absolut geraden Linie von *h* nach *p* gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, sie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchstens einige Unregelmäßigkeit in den Contouren des directen Bildes entstehen kann.

Fig. 425.



Unter den Strahlen, welche der Punkt *h* nach allen Richtungen aussendet, sind aber auch solche, welche den Weg *h i l m n p* verfolgen und welche also in der Richtung *p z* ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben. In der That wird der Strahl *h i*, wenn er auf die weniger dichte Luftschicht *c* trifft, so gebrochen werden, daß er sich vom Einfallslothe entfernt; ebenso wird er sich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er

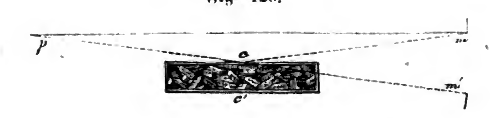
auf die nächste, abermals weniger dichte Luftschicht trifft u. s. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer schräger, bis sie endlich aus der Schicht, in welcher sie sich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; sie werden reflectirt und gelangen in der Richtung *mnp* in das Auge.

In unserer Figur ist der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie gezeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftschichten nach dem Boden hin allmälig abnimmt, so werden auch die Strahlen allmälig abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Dies ist die Erklärung, welche Monge von diesen Luftbildern gegeben und in den Mémoires de l'Institut d'Egypte bekannt gemacht hat.

Der folgende Versuch mag dienen, diese Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine schwache Nachahmung der Luftspiegelung ist. Es sey *c c'*, Fig. 426, ein Kasten von Eisenblech, ungefähr 1 Meter lang, 15 bis 18

Fig 426.



Centimeter hoch und breit; er war mit glühenden Kohlen gefüllt und ungefähr in die Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun oben über den Kasten hinsieht, so erblickt man in der Richtung *p m* das directe, in der Richtung *p m'* aber das verkehrte Bild eines entfernten Visirpunktes *m*. An den Seitenwänden des Kastens kann man dieselbe Erscheinung beobachten.

Wollaston hat noch einen anderen Versuch ausgesonnen, um solche Bilder in Flüssigkeiten hervorzubringen. Man gieße in ein rundes oder viereckiges Gefäß von Krystallglas zwei passende Flüssigkeiten über einander, welche ungleiche Dichtigkeit haben und welche sich an der Gränzfläche allmälig mit einander verbinden, wie Wasser und Schwefelsäure, Wasser und Weingeist, Wasser und Zuckersyrup u. s. w.; sieht man über die Grenzfläche hinweg, etwa nach einer auf die Außenseite des Glases gemalten Schrift, so sieht man von derselben ein aufrechtes und ein verkehrtes Bild.

Auch an anderen Orten und unter anderen Umständen werden oft Luftbilder beobachtet. So beobachtete z. B. Vince in Ramsgate eine merkwürdige Wirkung von Luftspiegelung. Wenn man von Ramsgate nach der Küste von Dover hinsieht, so erblickt man bei schönem Wetter die Spitzen der vier höchsten Thürme des Schlosses von Dover. Der Rest des Gebäudes ist hinter einem Bergrücken verborgen, welcher ungefähr

12 Meilen (englische?) weit vom Beobachter entfernt ist. Am 6. August 1806 Abends gegen 7 Uhr war Vince sehr erstaunt, nicht allein die vier Thürme, sondern das ganze Schloß bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Wegen der sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Lichtstrahlen in krummer Linie ins Auge gelangt.

Derselbe Physiker hat noch ähnliche Erscheinungen beobachtet und bekannt gemacht, besonders, indem er mit einem guten Teleskope die sich nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; so sah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich unterscheiden, zu gleicher Zeit sah er aber auch gerade über demselben ein ganz regelmäßiges, umgekehrtes Bild, so daß die Spitzen der Masten des directen und des verkehrten Bildes zusammenstießen, wie dies Fig. 427 dargestellt

Fig. 427.

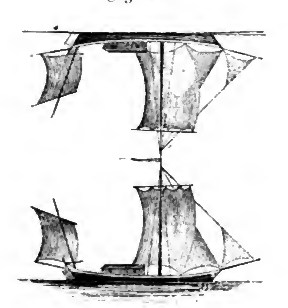
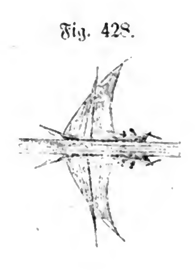


Fig. 428.



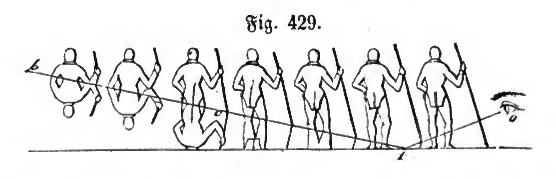
ist. Ein anderes Mal sah er von einem Schiffe, dessen Masten erst über dem Horizonte waren, zwei vollständige Bilder, Fig. 428, ein aufrechtes und ein verkehrtes.

Solche Erscheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftspiegelung, welche auf dem Meere öfters beobachtet werden, sind unter dem Namen der Erhebung oder des Seegesichtes bekannt. Scoresby hatte in den grönländischen Meeren häufig Gelegenheit, sie wahrzunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in vertikaler Richtung verlängert oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes, von Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle diese Erscheinungen rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche

Erscheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollständige Erklärung derselben gegeben. Er hat gezeigt, daß unter gewissen Umständen von einem Punkte t, Fig. 429, aus, welcher sich in einiger Entfernung von dem

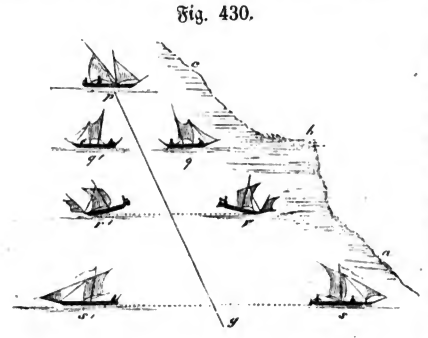
Fig. 429.



Beobachter befindet, man sich eine Linie $t\ c\ b$ gezogen denken kann, so daß alle Gegenstände, welche sich unter derselben befinden, unsichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich bis zu einer gewissen Höhe über derselben befinden, zwei Bilder sieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieser Linie. Ein Mensch also, welcher sich allmälig von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verschiedenen in Fig. 429 dargestellten Erscheinungen geben.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenstande selbst. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine auf dem Genfersee ein Luftbild, welches seitwärts vom Gegenstande lag; sie befanden sich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hause und sahen mit dem Fernrohre in der Richtung $g\ p$, Fig. 430, nach einem Schiffe, welches sich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle Rive gegenüber befand und nach Genf segelte. Während das Schiff allmälig nach q, r und s kam, sahen sie ein deutliches Bild zur Seite in q', r', s', welches sich wie das Schiff selbst näherte, während die Entfernung des Schiffes und seines Bildes größer wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild so hell, daß man es mit bloßen Augen sehen konnte.

Fig. 430.



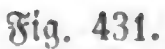
Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die Luft über dem See am östlichen Ufer $a\ b\ c$ des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während sie weiter links schon durch die Sonne erwärmt wurde; so konnte

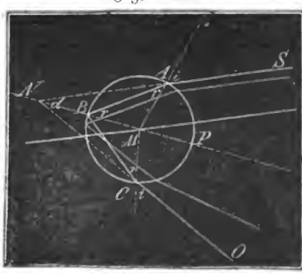
die Trennungsfläche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Wasser vertikal seyn.

Diese Beispiele mögen hinreichen, um eine Idee von den mannigfaltigen und oft bizarren Erscheinungen zu geben, welche durch die außergewöhnliche Brechung des Lichts in aneinander gränzenden Luftschichten von sehr verschiedener Dichtigkeit hervorgebracht werden. Wir haben bisher angenommen, daß diese Luftschichten in ebenen Flächen an einander gränzen; wenn dies aber nicht der Fall ist, wenn die Grenzflächen gekrümmt und unregelmäßig sind, so erscheinen die Bilder verzerrt. Es ist nicht zu bezweifeln, daß die unter dem Namen Fata Morgana bekannten Erscheinungen eine Wirkung der Luftspiegelung sind. Sie werden zu Neapel, zu Reggio und an den Küsten von Sicilien beobachtet. Auf einmal sieht man in großer Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlösser, Paläste, kurz eine Menge von Gegenständen, deren Anblick sich fortwährend ändert. Das Volk strömt dann dem Ufer zu, um dieses sonderbare Schauspiel anzusehen. Diese feenhafte Erscheinung beruht darin, daß Gegenstände sichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nicht sehen kann und welche zerrissen, verzerrt und sich fortwährend zu bewegen scheinen, weil die ungleich dichten Luftschichten in steter Bewegung sind.

219 **Der Regenbogen.** Es ist allgemein bekannt, daß man einen Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, dessen Spitze das Auge bildet und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erscheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.


Fig. 431.



Wenn ein Sonnenstrahl $S\,A$, Fig. 431, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahls $A\,B$ zu berechnen oder zu construiren. Bezeichnet man den Einfallswinkel mit i, den Brechungswinkel mit r, so ist $\sin. i = 1{,}33 \sin. r$, weil 1,33 der Brechungsexponent für Wasser ist. In B wird der Strahl theils gebrochen, theils gespiegelt, der gespiegelte trifft

in C von Neuem die Oberfläche des Tropfens und wird in der Richtung CO gebrochen. Verlängert man die Linien SA und OC, so schneiden sie sich in N. Der Winkel ANC, den wir mit d bezeichnen wollen, ist der Winkel, welchen der austretende Sonnenstrahl mit dem einfallenden macht, und die Größe dieses Winkels soll zunächst bestimmt werden. Ziehen wir in dem Punkte B, in welchem der Strahl gespiegelt wird, das Einfallsloth BN, so ist der Winkel $BNA = \frac{1}{2} d$. Der Winkel PMA ist, wie leicht einzusehen, $= 2r$ (als Außenwinkel des Dreiecks MBA), und da $2r$ ein Außenwinkel des Dreiecks MAN ist, so haben wir

$$\frac{1}{2} d = 2r - i,$$

denn der Winkel MAN ist gleich i. Daraus folgt aber

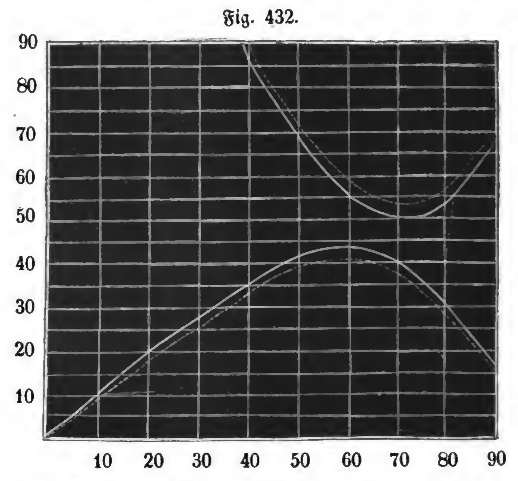
$$d = 4r - 2i \quad \ldots\ldots \quad 1).$$

Dieser Werth von d zeigt, daß der Winkel der eintretenden und austretenden Sonnenstrahlen mit der Größe des Einfallswinkels sich ändert, denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem also die unter sich parallel eintretenden Sonnenstrahlen in verschiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden sie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verschiedene Ablenkungen. Der einfallende Strahl, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für diesen Strahl ist $i = o$, wenn aber $i = o$, so ist auch r und d zu Null. Je mehr nun der Einfallspunkt A' nach A hinrückt, desto größer wird i, und die stetige Veränderung von i hat auch eine stetige Veränderung von d zur Folge. Es ist leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d nach Gl. 1) zu berechnen, wie es in folgender Tabelle für einige Werthe von i geschehen ist.

i	r	d
10°	7° 30′	10°
20°	14° 54′	19° 36′
30°	22° 5′	28° 20′
40°	28° 54′	35° 36′
50°	35° 10′	40° 40′
60°	40° 37′	42° 28′
70°	44° 57′	39° 48′
80°	47° 46′	31° 4′
90°	48° 45′	15°.

Nach dieser Tabelle ist die ausgezogene der beiden unteren Kurven, Fig. 432, construirt, welche das Verhältniß anschaulich macht, in welchem

Fig. 432.



der Einfallswinkel *i* zur Ablenkung *d* steht. Die verschiedenen Werthe von *i* sind als Abscissen, die zugehörigen Werthe von *d* als Ordinaten aufgetragen. Man übersieht aus dieser Figur sehr deutlich, wie mit zunehmendem Werthe von *i* auch die Ablenkung wächst, bis sie ein Maximum erreicht, wenn *i* gegen 58—59° ist. Wächst *i* noch mehr, so nimmt die Ablenkung wieder ab.

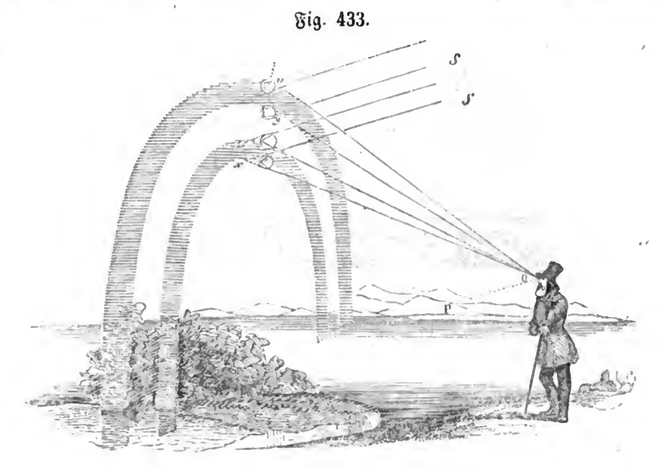
Aus dem eben Gesagten folgt nun unmittelbar, daß die parallel auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, die wir bisher betrachtet haben, nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es ist begreiflich, daß durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindrucks, den sie hervorbringen, ganz außerordentlich geschwächt wird, namentlich wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder, mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Suchen wir nun in der Kurve *ABC*, Fig. 432, diejenige Stelle, wo bei gleichmäßiger Veränderung der Abscissen *i* die Ablenkung sich verhältnißmäßig am wenigsten ändert, so finden wir, daß dies der Fall ist, wenn die Ablenkung ein Maximum ist, denn an dieser Stelle ist die Kurve

fast horizontal. Für alle Einfallswinkel i, welche selbst einige Grade größer und kleiner sind als 59°, ist die Ablenkung fast ganz dieselbe, sie beträgt sehr nahe 42° 30′; eine ziemliche Menge parallel einfallender Sonnenstrahlen verläßt also den Tropfen fast in derselben Richtung, nachdem sie eine Ablenkung von sehr nahe 42° 30′ erlitten haben; und diese Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Denkt man sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie $o\,p$, Fig. 433, gezogen, und durch dieselbe eine Vertikalebene

Fig. 433.



gelegt. Zieht man ferner durch o eine Linie $o\,v$, so daß der Winkel $p\,o\,v = 42^0\,30'$, so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, die durch Umdrehung der Linie $o\,v$ um die Axe $o\,p$ entsteht; das Auge wird also einen lichten Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von 42° 30′ erscheint.

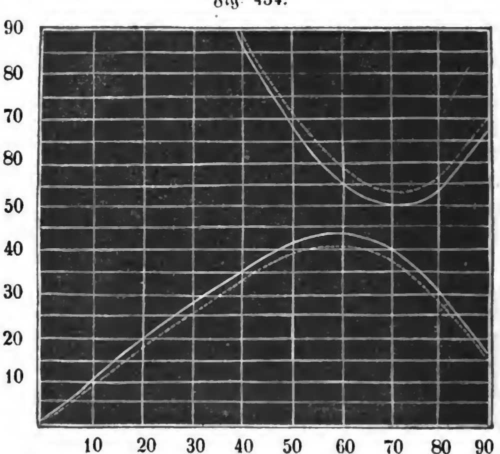
Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es ist dies aber nur der Brechungsexponent der rothen Strahlen, das Auge sieht also in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als ein rother Ring von 30′ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren

Durchmesser 30′ hat. Für violette Strahlen ist der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von i und d.

i	d	i	d
0	0	50°	39°
10°	9° 40′	60°	40° 28′
20°	18° 57′	70°	37° 28′
30°	27° 22′	80°	28° 28′
40°	34° 20′	90°	12° 18′.

Nach diesen Zahlen ist die unterste Kurve, Fig. 434, construirt. Das Maximum der Ablenkung, welches die violetten Strahlen nach einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, ist demnach nahe 40° 30′; dies ist aber auch die Richtung, in welcher die wirksamen violetten Strahlen austreten, es wird also concentrisch mit dem rothen ein violetter Kreisbogen von geringerem Halbmesser sichtbar seyn, welcher gleichfalls

Fig. 434.



eine Breite von 30′ hat. Zwischen diesen äußersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaßen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2°, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2° größer ist als der des violetten.

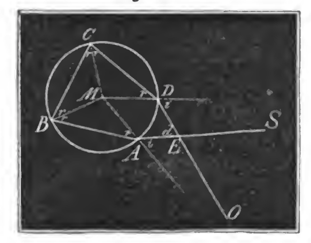
Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, so hängt sie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne

eben untergeht, erscheint der Regenbogen im Osten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale ist; wenn der Beobachter in der Ebene steht, so bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis, er kann aber mehr als einen Halbkreis übersehen, wenn er auf einer isolirten Bergspitze von geringer Breite steht. Bei Sonnenaufgang erscheint der Regenbogen im Westen. Je höher die Sonne steigt, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, desto kleiner ist also das dem Auge sichtbare Bogenstück. Wenn die Sonne 42⁰ 30′ hoch steht, ist für einen in der Ebene stehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr sichtbar, weil alsdann der Gipfel desselben gerade in den Horizont, der ganze Bogen also unter den Horizont fallen würde. Von den Masten der Schiffe sieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; solche ganz kreisförmige Regenbogen sieht man auch oft an Wasserfällen und Springbrunnen.

Außer dem eben besprochenen Regenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten größeren, mit dem ersteren concentrischen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äußeren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das Violet außen. Der äußere Regenbogen ist weit weniger lichtstark als der innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Ansicht, der zweite Regenbogen sey gleichsam ein Spiegelbild des ersten. Die Entstehung des äußeren Regenbogens beruht auf denselben Principien wie die des inneren, er entsteht durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine **zweimalige innere Reflexion** erlitten haben.

In Fig. 435 ist der Gang eines Lichtstrahls dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, dessen Größe veränderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer andern Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel, trifft. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungswinkels d zu ermitteln.

Fig. 435.



Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie dies bei jedem Fünfeck der Fall ist, 6 rechte oder 540⁰. Um den Winkel d zu

finden, haben wir also nur von 540° die Eckwinkel bei A, B, C und D abzuziehen; jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt $2\,r$, zusammen machen sie also $4\,r$ aus; der Winkel bei D sowohl als der bei A ist aber gleich r + dem Winkel MDE, für den Winkel MDE können wir aber seinen Werth $180 - i$ setzen, folglich ist der Winkel CDE gleich $r + 180 - i$, die beiden Eckwinkel bei A und D sind also zusammen $2\,r + 360 - 2\,i$; zieht man nun von 540° die beiden Eckwinkel bei B und C, also $4\,r$, und die beiden Eckwinkel bei A und D, also $2\,r + 360 - 2\,i$ ab, so kommt

$$d = 540 - 4\,r - (2\,r + 360 - 2\,i)$$

oder

$$d = 180^0 + 2\,i - 6\,r.$$

Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe des Einfallswinkels von i und des Ablenkungswinkels d für violettes und rothes Licht.

	Ablenkungswinkel	
Einfallswinkel	für Roth	für Violett
0	180°	180°
40	86° 36′	88° 0′
60	56° 18′	58° 24′
70	50° 18′	53° 24′
80	43° 24′	56° 12′
90	68° 30′	70° 18′.

Wenn ein rechtwinklig einfallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, so tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und austretenden Strahls ist für diesen Fall einmaliger innerer Spiegelung gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine zweite Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahls bildet, die Ablenkung ist alsdann 180°. Trifft der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, so nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der Einfallswinkel wächst. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71° ist die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt sie für die rothen Strahlen ungefähr 50°, für violette nahe $53^1/_2{}^0$. Für noch größere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder ab.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle sind die beiden oberen Kurven der Fig. 434 construirt, und zwar gilt die ausgezogene für die rothen, die punktirte für die violetten Strahlen. Man sieht aus dem Anblick der Figur,

daß in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, daß also in der Richtung der kleinsten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und diese Strahlen sind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlassend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den ersten Regenbogen entwickelten Schlußweise ergiebt sich, daß man unter den geeigneten Umständen einen rothen Bogen sehen wird, dessen Halbmesser unter einem Winkel von 50°, und einen violetten, dessen Radius unter einem Winkel von $53\frac{1}{2}°$ erscheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt also ungefähr $3\frac{1}{2}°$.

In Fig. 434 stellt der Höhenunterschied der beiden concaven Gipfel der oberen Kurven die Breite des äußeren Regenbogens, die Höhendifferenz der gegen einander gekehrten Gipfel der beiden ausgezogenen Kurven die Breite des Zwischenraums zwischen den beiden Regenbogen dar, welche ungefähr $7\frac{1}{2}°$ beträgt.

Der äußere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, da das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine 3malige und eine 4malige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

Höfe und Nebensonnen. Oft sieht man, wenn der Himmel mit einem leichten Wolkenschleier überzogen ist, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Sehr häufig sieht man diese Ringe nicht vollständig, sondern nur stückweise. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, daß das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

220

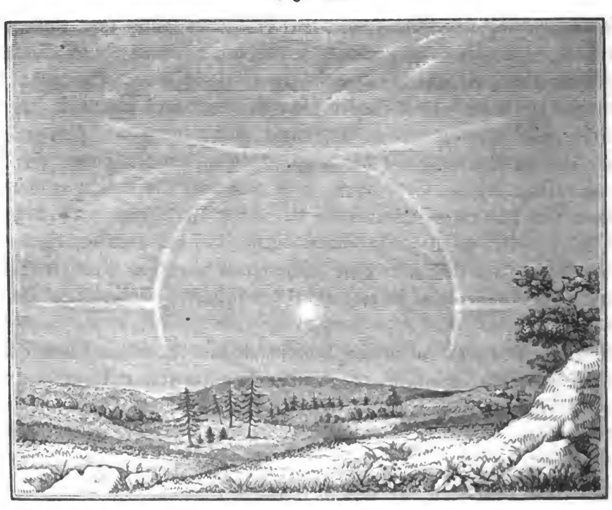
Diese Höfe haben die größte Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit semen lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet (Bd. I. S. 501), und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Bisweilen sieht man auch noch zwei größere farbige Kreise um die Sonne und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechseln sind; der Halbmesser des kleineren dieser hellen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des größeren aber unter einem Winkel von 46 bis 47°; das Roth ist bei denselben nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der äußere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten

erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Fig. 436 stellt die Erscheinung dar, wie man sie wohl am häufigsten zu beobachten die Gelegenheit hat; es ist nämlich der kleinere Ring von 22 bis 23° Radius; er ist durch einen horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher sich oft bis zur Sonne selbst erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am äußeren Umfange des Ringes sieht, sind die Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertikal über die Sonne im Gipfel des Ringes, oft erscheint hier aber auch ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 436 dargestellt ist. Oft sieht man die Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Diese Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur, wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Die erwähnten Ringe hat schon Mariotte durch eine Brechung des Lichts in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und

Fig. 436



nicht zusammenstoßende Seitenflächen einen Winkel von 60° mit einander, die Eisnadeln bilden also gewissermaßen gleichseitige, dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung er-

litten haben, sind den wirksamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Größe und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt sich durch die Annahme, daß die Axe der Prismen in der Weise schief steht, daß der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 90° beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Den Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den vertikalen Flächen der Eisnadeln; er ist da am hellsten, wo er den Ring von 23° durchschneidet, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken. Fraunhofer erklärt die Nebensonnenstreifen als Interferenzerscheinung. Am vollständigsten ist die Theorie der Höfe und Nebensonnen von Galle behandelt worden (Pogg. Ann. Bd. XLIX).

Irrlichter nennt man gewöhnlich kleine Flämmchen, welche in sumpfigen Gegenden, Mooren, Kirchhöfen u. s. w., kurz an Orten, wo Fäulniß und Verwesung vor sich gehen, nicht hoch über dem Boden zum Vorschein kommen, eine hüpfende unruhige Bewegung zeigen und bald wieder verschwinden. Während man gewöhnlich von den Irrlichtern als von einer ganz bekannten und erklärten Erscheinung redet, so herrscht doch über dieses Phänomen noch große Ungewißheit, da es durchaus noch nicht genügend erklärt, ja das Thatsächliche selbst noch nicht genügend ermittelt ist, was wohl begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß die meisten Personen, welche Irrlichter sahen, nicht im Stande waren genau zu beobachten und das Gesehene vorurtheilsfrei zu erzählen. 221

Zu den wenigen ganz zuverlässigen Berichten über Irrlichter gehört derjenige, welchen Bessel bekannt gemacht hat (Pogg. Ann. XLIV. Bd.). Dieser Gelehrte beobachtete das Phänomen in der Gegend der großen Moore des Herzogthums Bremen. Er beschreibt die Irrlichter als Flämmchen, welche über einem an vielen Stellen mit stehendem Wasser bedeckten Grunde entstanden und, nachdem sie einige Zeit geleuchtet hatten, wieder verschwanden; sie waren von bläulicher Farbe, wie die Flamme des Wasserstoffgases und sehr lichtschwach, so daß der Grund, über welchem ein einzelnes Flämmchen brannte, nicht merklich erleuchtet war, oder ihre oft große Zahl eine merkliche Helligkeit verbreitet hätte. Oft blieben die Flämmchen in unveränderter Stellung; oft nahmen sie eine Bewegung in horizontaler Richtung an, welche gewöhnlich zahlreiche Gruppen derselben gleichzeitig erfuhren.

Volta meinte, die Irrlichter beständen aus Sumpfgas (Kohlenwasserstoffgas), welches durch einen elektrischen Funken entzündet würde. Aber

woher soll der elektrische Funken kommen? Andere meinen, es sey Phosphorwasserstoffgas, welches sich entzündet, sobald es mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt; alsdann aber würde man einen momentanen von einer Verpuffung begleiteten Lichtblitz und nicht ein länger anhaltendes mattes Licht beobachten. Die wahrscheinlichste Ansicht ist noch die, daß die Irrlichter durch ein phosphorhaltiges Wasserstoffgas erzeugt würden, welches nicht eigentlich als Flamme verbrennt, sondern nur schwach phosphorescirt.

222 **Das Zodiakallicht.** Um die Zeit der Tag- und Nachtgleichen erscheint manchmal kurz nach Sonnenuntergang am westlichen Horizonte ein schwacher Lichtstreifen, meist noch matter als das Licht der Milchstraße, welcher die Form einer schief auf dem Horizonte stehenden Pyramide hat.

Die Basis dieses unten breiter werdenden Lichtkegels erscheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen ist; die Axe desselben ist gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher sich eben die schon untergegangene Sonne befindet; sie fällt fast ganz mit der Ebene des Sonnenäquators zusammen, der ganze Streifen fällt also am Himmel in den Thierkreis, da die Ebene des Sonnenäquators einen Winkel von 7° mit der Ebene der Ekliptik macht.

In unsern Gegenden bildet die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizonte. Auch des Morgens ist es schon beobachtet worden, allein weit schwächer als des Abends.

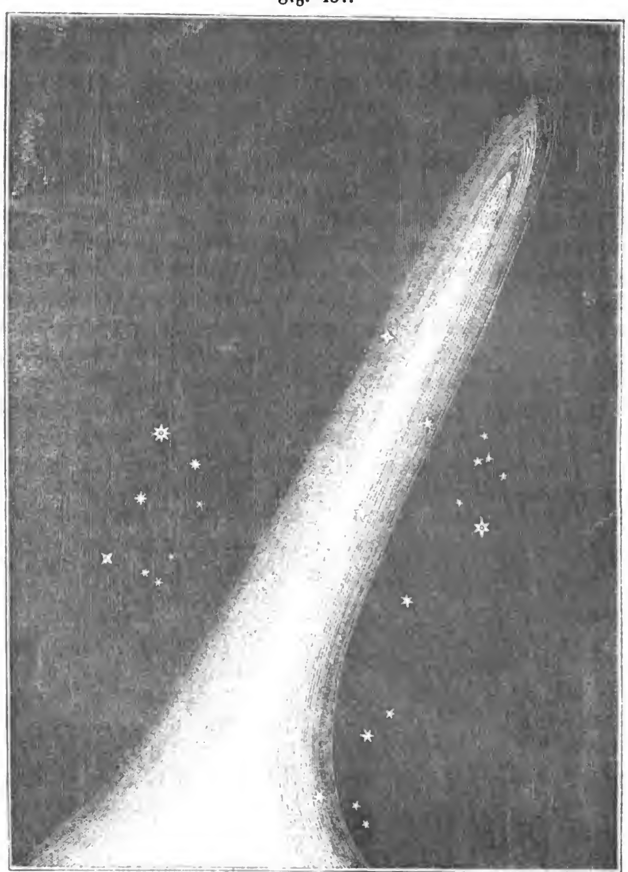
Da die Axe des Zodiakallichtes mit dem Thierkreise zusammenfällt, so ist klar, daß die Neigung derselben gegen den Horizont nicht an allen Orten der Erde dieselbe seyn kann; in der That erscheint es um so weniger geneigt, je mehr man sich dem Aequator nähert; innerhalb der Tropen, wo es weit häufiger als in höhern Breiten und weit leuchtender und schöner beobachtet wird, so daß es Humboldt einen beständigen Schmuck der Tropennächte nennt, steht es fast senkrecht auf dem Horizonte. Auf der nördlichen Halbkugel erscheint dem Beobachter die Spitze nach Süden gerichtet, also links von der Basis, auf der südlichen Halbkugel erscheint aber die ganze Pyramide nach Norden, also nach der rechten Seite des Beobachters hin geneigt.

Da das Zodiakallicht in unsern Gegenden zu den seltenern Erscheinungen gehört, so ist eine Abbildung durchaus nöthig, und eine klare Vorstellung dieser eigenthümlichen Erscheinung zu geben. Fig. 437 stellt eine von Horner mitgetheilte Zeichnung eines Zodiakallichtes dar, welches dieser Gelehrte zu Sta. Cruz an der Küste von Brasilien ohngefähr 27° S. B. beobachtete.

Was die Erklärung des Zodiakallichtes betrifft, so sind bis jetzt zweierlei Meinungen darüber aufgestellt worden; nach Mairans Erklärung ist das Zodiakallicht die Atmosphäre der Sonne, welche entweder selbst leuchtend ist, oder von der Sonne erleuchtet wird; diese Atmosphäre ist wegen des

schnellen Umschwungs der Sonne so stark abgeplattet, daß sie als ein in der Richtung des Sonnenäquators liegender Streifen erscheint; aus den Gesetzen der Gravitation läßt sich aber darthun, daß eine etwaige Sonnen-

Fig. 437.



atmosphäre sich nicht bis zur Merkursbahn erstrecken kann; weit wahrscheinlicher ist dagegen die andere Ansicht, nach welcher die Erscheinung des Zodiakallichts einem um die Sonne herumliegenden Nebelringe zuzuschreiben ist.

Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine. Eine allgemein 223

bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keine weitere Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternschnuppen 34 bis 35 Meilen beträgt, und daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Sekunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12 — 14 November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letzte Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12 — 13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprungs und gleicher Natur zu seyn und sich nur durch die Größe der Erscheinung von einander zu unterscheiden. Bei den großen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter großem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, welche unter dem Namen die Meteorsteine oder die Aërolithen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichen Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiß und in Folge der Geschwindigkeit des Falles mehr oder weniger tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für Mährchen zu erklären; seitdem aber haben sich mehrere Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu Stannern in Mähren. Am 13. Nov. 1835 (also zur Zeit der Sternschnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Fossilien unterscheiden, demnach aber sind sie unter einander wieder so verschieden, daß Chladni, welcher sich soviel mit diesem Gegenstande beschäftigte, es für schwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; besonders charakteristisch ist aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eisen, und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde,

welche fast nie fehlt. Eine weitere Beschreibung würde uns zu tief in mineralogische Details führen.

Man hat an verschiedenen Orten Steinmassen auf dem Boden gefunden, welche den Gebirgssystemen jener Gegenden ganz fremd sind, aber mit notorischen Meteorsteinen die größte Aehnlichkeit haben, und ist deshalb berechtigt auch diese für Aërolithe zu halten.

Die Masse der Meteorsteine ist oft sehr groß.

Eines der Bruchstücke, welche zu Aigle im Jahre 1803 fielen, wog 17 Pfd. Im Jahre 1751 fiel bei Hradschma im Agramer Comitat ein 71 Pfd. schwerer Meteorstein. Eine im Jahre 1814 zu Lenarto in Ungarn aufgefundene Meteorsteinmasse wog 194 Pfd. Eine in Sibirien aufgefundene von Pallas beschriebene Masse von Meteoreisen wog 1400 Pfd., in Mexico fand man solche, welche 300 bis 400 Centner wogen.

Es ist kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine kosmischen Ursprungs, daß sie höchst wahrscheinlich Massen sind, welche wie die Planeten um die Sonne kreisen und, in die Anziehungssphäre der Erde gerathen, herabfallen. Die Feuer- und Lichterscheinung erklärt sich am einfachsten durch die Annahme, daß diese kleinen Weltkörper mit einer Atmosphäre brennbarer Gase umgeben sind, welche sich beim Eintritte in die sauerstoffhaltige Atmosphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen einzeln um die Sonne kreisenden Massen der Art ganze Schwärme derselben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines solchen Ringes an einer bestimmten Stelle die Erdbahn schneidet, so erklären sich dadurch die periodischen Sternschnuppenfälle.

Sechstes Kapitel.

Von der atmosphärischen Elektricität.

224 **Erste Entdeckung der atmosphärischen Elektricität.** Otto von Guericke, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Wall beobachtete ungefähr zu derselben Zeit einen lebhafteren Funken und ein stärkeres Geräusch, als er einen großen Harzcylinder rieb, und merkwürdiger Weise wurden die ersten durch Menschenhände hervorgebrachten elektrischen Funken auch sogleich mit dem Blitze verglichen. Dieser Funken und dieses Knacken, sagt Wall in seiner Abhandlung (Philos. transactions), scheinen gewissermaßen den Blitz und den Donner darzustellen. Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit zu beweisen, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze eines der großartigsten Phänomene der Natur zu erkennen, bedurfte es noch directer Beweise. Während man in Europa darüber hin und her redete, ob wohl der Blitz wirklich ein elektrisches Phänomen sey, wurde in Amerika der experimentelle Beweis geliefert. Nachdem Franklin mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leidner Flasche und das Vermögen der Spitzen gemacht hatte, kam er auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloß nämlich, daß Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken aufsaugen müßten. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals in Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber müde zu warten, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben mußte. Da es ja nur darauf ankam, einen Körper hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, daß ein Drachen, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte wie der höchste Thurm Er benutzte das erste Gewitter, um den Versuch zu machen; nur von einer Person, seinem Sohne, begleitet, weil er fürchtete, sich lächerlich zu machen, wenn der Versuch mißglückte, begab er sich ins Freie und ließ den Drachen steigen. Eine Wolke, welche viel versprach, zog vorüber, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, er bemerkte keinen Funken, kein Anzeichen von Elektricität; endlich fingen die Fasern der Schnur an sich aufzustellen,

und es ließ sich ein Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, dem bald noch mehrere andere folgten.

Franklin hatte seinen Versuch im Juni 1752 angestellt; er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas zu Nerac war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht anzubringen (Mem. des Savans étrangers t. II.). Im Jahre 1757 wiederholte De Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Größe. »Man denke sich,« sagt er, »Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches ebenso stark, ja stärker ist als ein Pistolenschuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich zum mindesten 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuß lang waren (Mem. des savans étrangers t. VI.)«.

Aller Vorsichtsmaßregeln ungeachtet, welche dieser geschickte Experimentator nahm, wurde er einmal durch die Heftigkeit des Schlages niedergeworfen.

Diese Versuche beweisen vollständig, daß der Blitz nur ein elektrischer Funken ist.

Elektricität während der Gewitter. Wenn man den elektrischen Zustand der Wolken untersucht, welche nach und nach über dem Drachen hinziehen, so erkennt man, daß sie bald mit positiver oder negativer Elektricität geladen sind, bald sich aber auch im natürlichen Zustande befinden. Obgleich wir über die Vertheilung der Elektricität in den Wolken nichts wissen, so ist doch wohl die Anziehung und Abstoßung der ungleich oder gleich elektrisirten Wolken die Ursache der außergewöhnlichen Bewegungen, welche man während der Gewitter am Himmel beobachtet. Während dieser allgemeinen Bewegung der Atmosphäre sieht man Blitze den Himmel durchzucken und hört den Donner rollen. Diese beiden Erscheinungen wollen wir nun näher betrachten. 225

Manchmal sieht man den Blitz aus einer Wolke hervorbrechen und den Himmel weithin durchfurchen. Wenn man von hohen Bergen herab diese Erscheinung zu seinen Füßen beobachtet, so kann man ihre Ausdehnung besser schätzen; alle Beobachter stimmen darin überein, daß sie unter solchen Umständen Blitze gesehen haben, welche wenigstens eine Meile lang waren. Man weiß auch, daß aus derselben Wolke nach einander mehrere Blitze hervorsprühen. Endlich ist bekannt, daß die Blitze mei-

stens einen Zickzack bilden; diese Form ist dem Blitz und dem elektrischen Funken gemein.

Die Dampfbläschen, welche die Wolken bilden, sind nicht so vollkommene Leiter als die Metalle, und ohne die Gesetze des Gleichgewichts und der Vertheilung der Elektricität in unvollkommenen Leitern zu kennen, ist es doch klar, daß sie sich nicht auf einmal so vollständig entladen, daß sie durch einen einzigen Funken in den natürlichen Zustand zurückgeführt werden können; somit erklärt es sich, daß aus einer Wolke mehrere Blitze hervorspringen können.

Die Länge des Blitzes scheint auch eine Folge der unvollkommenen Leitungsfähigkeit der Wolken und der Beweglichkeit der Theilchen zu seyn, aus denen sie bestehen. Von dem Conductor der besten Elektrisirmaschine kann man durch trockene Luft hindurch Funken von 1 Meter Länge erhalten; die Funken werden aber noch länger, wenn man sie über Stoffe von Wolle oder Seide schlagen läßt, welche mit etwas Staub bestreut sind; so müßte man auch durch einen Nebel hindurch längere Funken erhalten, wenn er nicht zu sehr die Spannung der Elektricität verminderte. Um die Länge des Blitzes zu erklären, muß man demnach wohl annehmen, daß auf dem Wege, welchen der Blitz nimmt, die Dampftheilchen schon durch Vertheilung elektrisirt sind, und daß endlich, wenn der Blitz erscheint, sich das gestörte Gleichgewicht von Schicht zu Schicht wieder herstellt, daß gewissermaßen nur Funken von Theilchen zu Theilchen überspringen, daß aber die elektrische Flüssigkeit nicht den ganzen Weg zwischen den weit entfernten Wolken durchläuft.

Der Donner ist nicht schwerer zu erklären, wie das Geräusch eines kleinen elektrischen Funkens, er entsteht durch die Vibrationen der gewaltsam erschütterten Luft. Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet als das Licht, da er in einer Secunde nur 340 Meter zurücklegt, so sieht man den Blitz eher als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sey 3400 Meter lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängernng seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes 10 Sekunden später ankommen als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer dauern-

des Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

Nicht allein bei Gewitterwolken, sondern auch bei heiterem Himmel kann man mit Hülfe guter Elektroskope die Existenz einer elektrischen Spannung in der Atmosphäre nachweisen.

Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität wissen wir so gut wie nichts, obgleich über diesen Gegenstand schon gewaltig viel geschrieben worden ist. Einige meinen, daß die Elektricität der Gewitterwolken durch eine rasche Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes entstehe, daß also die Elektricität eine Folge der schnellen Bildung dichter Wolken sey. — Nach den Versuchen Pouillet's wird durch die Verdunstung des Wassers, welches bald mehr, bald weniger fremde Substanzen gelöst enthält, durch jede Verbrennung, ja selbst durch die Vegetation Elektricität entwickelt, und es ist wahrscheinlich, daß wenigstens die Verdunstung eine Quelle der atmosphärischen Elektricität ist.

Die Schwierigkeiten, welche sich einer genügenden Erklärung der atmosphärischen Elektricität entgegenstellen, sind wohl besonders darin zu suchen, daß wir wohl das Verhalten fester Körper gegen die Elektricität, aber nicht das der gasförmigen Körper, der Dämpfe und der Wolken kennen; auch ist es schwer, hierüber entscheidende Versuche anzustellen, weil alle elektrischen Erscheinungen, die wir im Kleinen an Gasen und Dämpfen etwa beobachten könnten, zu sehr durch die Nähe fester, bald mehr, bald weniger leitender Körper modificirt sind, und man deshalb nicht mit Sicherheit auf die Bildung und Vertheilung der Elektricität in höheren Luftregionen schließen kann.

Wirkungen des Blitzes auf der Erde. Denken wir uns, daß eine Gewitterwolke 2000 bis 6000 Meter hoch über dem Meere oder über einem großen See schwebe; nehmen wir z. B. an, sie sey positiv elektrisch, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser zurückgestoßen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend seyn, daß sie eine merkliche Erhebung des Wassers bewirkt, es wird sich eine große Woge, ein Wasserberg bilden können, welcher so lange bleibt, als dieser elektrische Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn sich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne daß ein Entladungsschlag erfolgt, so wird sich auch der natürlich-elektrische Zustand des Wassers allmälig wieder herstellen. 2) Wenn ein Blitz zwischen der Gewitterwolke und einer andern, oder zwischen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke plötzlich entladen wird, so muß die an der Oberfläche des Wasserberges angehäufte Elektricität auch rasch wieder

226

ab-, die bisher abgestoßene rasch wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet und wenn sie stark genug mit Elektricität geladen ist, so schlägt der Blitz über. Dieser directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers hervor als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechanische Wirkung auf die ponderabeln Elemente Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor, es scheint jedoch, daß solche Störungen des elektrischen Gleichgewichts durch organische Wesen, und namentlich durch nervenkranke Personen, empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beispiel, daß er eine Entzündung veranlaßt habe, dagegen fehlt es nicht an Beispielen, daß Menschen und Thiere durch den Rückschlag getödtet worden sind; man findet an ihnen in diesem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, daß so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb sagt man mit Recht, daß Bäume den Blitz anziehen; man darf deshalb während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt seyn; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Mö-

bel umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden herausgerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Spähne findet man weit weggeschleudert, und am Fuße des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trocknes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch seltner Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung hervor; Saussure bemerkte sie auf dem Gipfel des Montblanc in Hornblendeschiefer, Ramond auf dem Gipfel des Montperdu in Glimmerschiefer und auf dem Puy de Dome in Porphyr; endlich sahen Humboldt und Bonpland auf dem Gipfel des Vulkans von Toluca auf einer Ausdehnung von mehr als zwei Quadratfuß hin die Oberfläche der Felsen verglast, an einigen Stellen fanden sie sogar Löcher, welche innen mit einer glasigen Kruste überzogen waren.

Ein interessantes Beispiel von Schmelzung durch den Blitz erzählt uns Withering (Phil. transact. 1790). Am 3. September 1789 schlug der Blitz in eine Eiche im Park des Grafen von Aylesford ein und tödtete einen Menschen, welcher unter diesem Baume Schutz gesucht hatte. Der Stock, welchen der Unglückliche trug, scheint besonders den Blitz geleitet zu haben, weil sich da, wo der Stock auf dem Boden aufgestützt war, ein Loch von 5 Zoll Tiefe und $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser fand. Das Loch wurde alsbald von Withering untersucht, und es fanden sich in demselben nur einige verbrannte Wurzelfasern. Der Lord Aylesford wollte nun an dieser Stelle eine Pyramide mit einer Inschrift errichten lassen, welche davor warnen sollte, bei Gewittern unter Bäumen Schutz zu suchen. Beim Graben des Fundamentes fand man den Boden in der Richtung des Loches bis zu einer Tiefe von 10 Zoll geschwärzt, und 2 Zoll tiefer fand man in dem quarzigen Boden deutliche Spuren von Schmelzung. Unter andern fand sich ein Quarzstück, dessen Kanten und Ecken vollkommen geschmolzen waren, und eine durch die Hitze zusammengebackene Sandmasse, in welcher sich eine Höhlung befand, in der die Schmelzung so vollkommen war, daß die geschmolzene Quarzmasse an den Seiten der Höhlung heruntergeflossen war.

Endlich müssen hier noch die sogenannten Blitzröhren erwähnt wer-

den, welche man in den sandigen Ebenen von Schlesien, von Ostpreußen, von Cumberland und in Brasilien, nahe bei Bahia, findet. Diese Röhren sind oft 8 bis 10 Meter lang, ihr äußerer Durchmesser beträgt gewöhnlich 5 Centimeter, ihr innerer einige Millimeter; die innere Fläche ist vollkommen verglast, die äußere ist rauh, sie sieht aus wie eine mit zusammengebackenen Sandkörnern bedeckte Kruste; man findet sie bald in vertikaler, bald in schräger Richtung im Sande; am unteren Ende verzweigen sie sich gewöhnlich und werden nach und nach spitzer. Fiedler, welcher über diesen Gegenstand viele interessante Beobachtungen gemacht hat (Gilbert's Annal. LV. u. LXI.), bemerkt, daß sich in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche der Sandebenen Wassermulden befinden, und er betrachtet die Blitzröhren dadurch entstanden, daß der Blitz durch den Sand nach dem Wasser durchschlägt.

Um einen Begriff von den fürchterlichen Wirkungen des Blitzes zu geben, mag hier eine Beschreibung des Unglücks folgen, welches sich am 11. Juli 1819 zu Chateauneuf-les-Moustiers ereignete, wie es durch den Generalvicar Trincalye von Digne an die Akademie der Wissenschaften berichtet wurde.

Im Arrondissement von Digne, im südöstlichen Theile des Departements der Niederalpen, an die kleine Stadt Moustiers gränzend, welche durch ihre Fayencemanufakturen bekannt ist, liegt das Dorf Chateauneuf. Es ist auf der Höhe und an dem Abhange eines der Vorgebirge der Alpen gelegen, welche das Amphitheater von Moustiers bilden; es besteht aus 14 Häusern, welche um das Pfarrhaus und um die Kirche herum liegen; außerdem liegen noch 105 Wohnungen als Höfe zerstreut auf dem Abhange des Gebirges.

Am Sonntage, den 11. Juli 1819 ging der Pfarrer von Moustiers als bischöflicher Commissair nach Chateauneuf, um daselbst einen neuen Rector zu installiren. Gegen 10 1/2 Uhr begab man sich in Procession aus dem Pfarrhause in die Kirche; das Wetter war schön, man bemerkte nur einige dunkle Wolken. Der neue Rector begann das Hochamt zu halten.

Ein junger Mensch von 18 Jahren, welcher den Pfarrer von Moustiers begleitet hatte, sang eben die Epistel, als man drei Donnerschläge hörte, welche dem Blitze rasch folgten; das Missale wurde ihm aus den Händen geschleudert und zerrissen; er selbst fühlte sich am Körper durch die Flamme gleichsam gepackt, die ihn auch am Halse ergriff. Durch eine unwillkürliche Bewegung schloß der junge Mensch den Mund, nachdem er zuerst entsetzlich geschrieen hatte, er wurde niedergeworfen und auf die in der Kirche versammelten Personen gewälzt, welche vor die Thür stürzten. Als er zu sich selbst gekommen war, dachte er zuerst daran, in die Kirche zurückzukehren, um sich zu dem Pfarrer von Moustiers zu begeben, den er ohne Bewußtseyn fand.

Der junge Mensch lenkte die Aufmerksamkeit und die Sorge derjenigen, welche, leichter verletzt, noch Hülfe leisten konnten, auf den ehrwürdigen unglücklichen Pfarrer. Man hob ihn auf, löschte die Flamme seiner Kleider, und mit Hülfe von Essig rief man ihn nach zweistündiger Betäubung in's Leben zurück. Er spie Blut. Den Donner versicherte er nicht gehört und nichts von Allem gewußt zu haben, was vorgegangen war. Man brachte ihn in das Pfarrhaus. Das elektrische Fluidum hatte den oberen Theil der Goldborden seiner Stola stark verletzt und hatte im Herunterlaufen einen seiner Schuhe fortgeschleudert, den man am Ende der Kirche mit zerbrochener Metallschnalle fand. Der Stuhl, auf welchem er gesessen hatte, war zerbrochen. Erst nach zwei Monaten vernarbten die Wunden, deren er fünf erhalten hatte. Während dieser Zeit wurde er durch Schlaflosigkeit ermattet, die Arme waren gelähmt, und er litt viel bei Witterungsveränderungen.

Ein Kind wurde von den Armen seiner Mutter sechs Schritte weit fortgeschleudert; es wurde erst in das Leben zurückgerufen, als man es ins Freie brachte. Die Kirche war mit einem dicken schwarzen Rauch erfüllt; man konnte die verschiedenen Gegenstände nur vermittelst der Flammen der durch den Blitz entzündeten Gegenstände erkennen. Acht Personen blieben todt auf dem Platze. Ein Mädchen von 19 Jahren starb des anderen Tages unter schrecklichen Schmerzen. 82 Personen waren verwundet.

Der celebrirende Priester war nicht vom Blitze getroffen worden, vielleicht weil er ein seidenes Gewand trug.

Eine Frau, welche auf dem Gebirge westlich von Chateauneuf in einer Hütte war, sah dreimal nach einander Feuermassen herabfallen, welche das ganze Dorf in Asche legen zu müssen schienen.

Wahrscheinlich hatte der Blitz zuerst das Kreuz auf dem Thurme getroffen, welches man in einer Entfernung von 16 Metern in einer Felsspalte steckend fand. Das elektrische Feuer drang dann durch ein in das Gewölbe geschlagenes Loch in die Kirche; die Kanzel war zertrümmert. Man fand in der Kirche eine Höhlung von ½ Meter Durchmesser, welche bis auf das Straßenpflaster ging; eine andere führte bis in einen Stall, in welchem man 5 Schafe und 1 Pferd todt fand.

Die Blitzableiter bestehen aus einer zugespitzten Metallstange, welche in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollen: 227

1) Die Stange muß in eine sehr feine Spitze zulaufen.

2) Die Verbindung mit dem Boden muß vollkommen leitend seyn.

3) Von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden.

4) Alle Theile des Apparates müssen die gehörigen Dimensionen haben.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestoßen, welche mit der der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten, die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann; auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren, denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, einer der drei zuerst genannten Bedingungen sey nicht erfüllt, die Spitze sey stumpf, die Leitung zum Boden sey unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, daß eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, daß sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft seyn kann, man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne das Gebäude zu zerstören.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden gewesen wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diese Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher irgend Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beispiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokolow, Kupferstecher der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die Stirne traf.

Nachdem wir angegeben haben, welche Bedingungen erfüllt seyn müssen, wenn ein Blitzableiter wirksam sein soll, und welche Gefahren daraus entspringen, wenn man sie vernachlässigt, bleibt noch Einiges über die praktische Ausführung der Blitzableiter zu sagen übrig. Gay-Lussac hat unter den Auspicien der Akademie der Wissenschaften auf das Verlangen des Ministers des Innern eine Instruction über diesen Gegenstand verfaßt, welche nichts zu wünschen übrig läßt, aus der wir aber hier nur das Wesentlichste anführen können.

Die Stange des Blitzableiters ist ungefähr 9 Meter lang; sie ist aus drei Stücken zusammengesetzt, nämlich

einer Eisenstange von 8,6 Meter Länge
einem Messingstabe von 0,6 » »
einer Platinnadel von 0,05 » »

Zusammen bilden sie einen von unten nach oben gleichmäßig zulaufenden Kegel, Fig. 438.

Fig. 438. Fig. 439. Fig. 442.

Die Platinnadel ist an dem Messingstabe mit Silber angelöthet und die Verbindungsstelle mit einer Hülle von Kupfer umgeben, wie man dies Fig. 439 deutlicher sieht.

Der Messingstab ist in der Eisenstange eingeschraubt und dann noch durch Querstifte befestigt.

Die Eisenstange ist manchmal, um den Transport zu erleichtern, aus zwei Stücken zusammengesetzt, von denen das eine mittelst eines 2 Decimeter langen Zapfens in das andere hineingesteckt und dann mittelst eines Querstiftes befestigt ist.

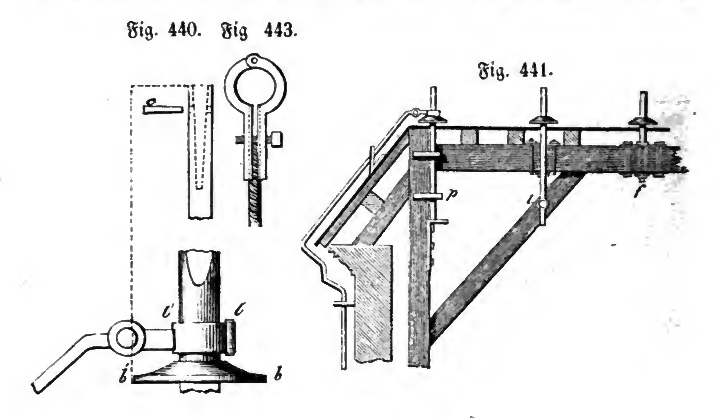
In Fig. 441 sieht man drei verschiedene Arten, nach welchen die Stange auf einem Gebäude befestigt werden kann.

Unterhalb der Stange, 8 Centimeter weit vom Dache, ist eine Platte *b b'*, Fig. 440, angelöthet, um das Wasser abzuleiten. 5 Centimeter über dieser Platte muß die Stange cylindrisch und vollkommen gut abgedreht seyn, damit man ein Charnier *l l'*, Fig. 440 und 442, darum legen kann, an welchem die Leitstangen befestigt werden.

Der Leiter ist eine quadratische Eisenstange, deren Seite 15 bis 20 Millimeter beträgt und welche an dem Ringe *l l* mittelst Schrauben befestigt ist.

Die Leitstange wird über das Dach her und an dem Gebäude herunter in den Boden geleitet. Alles kommt darauf an, die Leitstange mit dem Boden möglichst gut in leitende Verbindung zu bringen. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, welcher nicht austrocknet, oder wenn man ein Loch bis zu der Tiefe bohren kann, in welcher sich beständig Wasser findet, so reicht es hin, die Stange hineinzuleiten, indem man sie in meh-

rere Arme theilt. Um die Berührungspunkte zu vermehren, führt man die Stange durch Windungen zu dem Brunnen oder dem Bohrloche, welche



man dann mit Holzkohlen ausfüllt. Dies gewährt den doppelten Vortheil, daß auf diese Weise das Eisen besser vor Rost geschützt wird und daß es mit einem sehr guten Leiter, der Kohle, in Berührung ist.

Wenn man kein Wasser in der Nähe hat, muß man die Stange wenigstens durch einen langen Kanal, der mit Kohlen ausgefüllt wird, an einen feuchten Ort leiten. Der größeren Sicherheit wegen kann man die Leitstange auch noch in Seitenkanäle verzweigen.

Häufig wendet man statt der Leitstange ein von Kupferdraht gewundenes Seil an, wie Fig. 443.

Wenn man leicht einsieht, daß der Blitz nicht in einen nach diesen Principien construirten Blitzableiter schlägt, so ist es nicht schwieriger zu begreifen, daß er auch in einiger Entfernung vom Blitzableiter nicht einschlagen kann. Die Elektricität, welche in reichlichem Maaße durch die Spitze ausströmt, wird durch die Gewitterwolke angezogen und neutralisirt, daselbst angekommen, einen Theil der ursprünglichen Elektricität dieser Wolke. Wenn also eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug ist, um vertheilend wirken zu können, so wird auch sogleich ihre elektrische Kraft durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität aus der Spitze geschwächt. Je mehr sich die Wolke nähert, desto stärker wirkt ihre vertheilende Kraft, desto mehr wird sie aber auch durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität neutralisirt.

Die Wirksamkeit des Blitzableiters ist jedoch noch an einige andere Bedingungen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen Ge-

genständen überragt wird, so kann die Elektricität der Wolke auf diese stärker wirken als auf den Blitzableiter, es ist also ein Schlag möglich: ebenso wenn bedeutende Metallmassen, etwa eiserne Stangen oder eine metallische Dachbedeckung, sich in der Nähe des Blitzableiters befinden. In dem letzteren Falle muß man diese Metallmassen möglichst gut in leitende Verbindung mit dem Blitzableiter bringen, damit die angezogene Elektricität ungehindert durch die Spitze ausströmen kann. Es ist demnach gefährlich, die metallene Dachbedeckung von dem Blitzableiter zu isoliren, wie dies einige Praktiker vorgeschlagen haben. Glücklicher Weise sind die Mittel, welche sie zur Isolirung angewandt haben, nicht ausreichend, um ihren Zweck zu erfüllen, und so haben sie nur etwas Unnützes gemacht.

Die Erfahrung zeigt, daß ein mit allen Vorsichtsmaßregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 20 Metern Radius schützt.

228 **Geographische Verbreitung der Gewitter.** In der heißen Zone sind die Gewitter sehr häufig, namentlich zu Anfange und zu Ende der nassen Jahreszeit, in der Region der Calmen aber findet fast täglich ein Gewitter Statt; sie sind dort ungleich heftiger als in unseren Gegenden. In höheren Breiten werden die Gewitter seltener; im westlichen Europa und in Deutschland kommen ungefähr 20 Gewitter auf das Jahr, in Petersburg und Moskau 17, in Stockholm 9, in Bergen 6; in noch nördlicheren Gegenden sind sie noch seltener, so daß oft mehrere Jahre vergehen, ohne daß man einmal donnern hört.

Im westlichen Europa fällt ungefähr die Hälfte aller im Laufe eines Jahres stattfindenden Gewitter auf den Sommer, auf den Winter ungefähr $1/_{10}$. In Deutschland und der Schweiz sind die Gewitter im Sommer noch zahlreicher, Wintergewitter aber sind hier eine Seltenheit; noch weiter im Innern von Europa giebt es gar keine Wintergewitter mehr. Auf der Westküste von Norwegen, in Bergen, wo im Laufe eines Jahres im Durchschnitte 6 Gewitter stattfinden, kommen dagegen ungefähr 2—3 Gewitter auf den Winter und nur 1 — 2 auf den Sommer. Auch auf der Westküste von Nordamerika und den Ostküsten des adriatischen Meeres sind die Wintergewitter vorherrschend.

Siebentes Kapitel.

Vom Erdmagnetismus.

229 Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus an irgend einem Orte der Erde ausübt, ist durch die Declination, die Inclination und die Intensität bestimmt. Mit rastlosem Eifer haben gelehrte Reisende in allen Welttheilen und in den verschiedensten Gegenden der Meere diese Elemente zu bestimmen gesucht; die Resultate ihrer Forschungen hat man auf den Erdkarten durch drei verschiedene Systeme von Linien zusammengefaßt, welche man die isogonischen, die isoclinischen und die isodynamischen genannt hat.

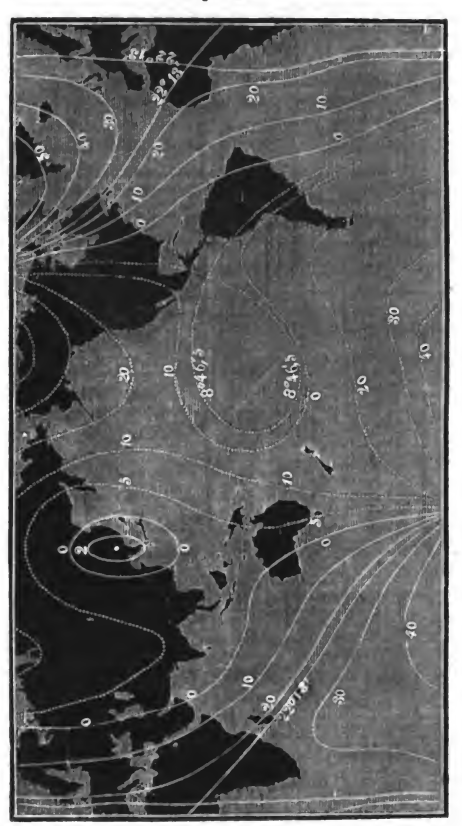
Die isogonischen Linien sind diejenigen, für welche in allen Punkten die Declination dieselbe ist; solche Karten, in welche man die isogonischen Linien aufgetragen hat, nennt man Declinationskarten. Die erste Karte der Art hat Halley im Jahre 1700 construirt. Da die Elemente des Erdmagnetismus fortwährend sich ändern, so kann eine solche Karte den Lauf der isogonischen Linien nur für eine bestimmte Zeit angeben; in der That weicht die von Hansteen für das Jahr 1780 entworfene Declinationskarte schon sehr bedeutend von der Halley'schen ab, und jetzt ist natürlich der Lauf der isogonischen Linien nicht mehr derselbe, wie er im Jahre 1780 war. Die neuesten Declinationskarten sind von Adolf Ermann und Barlow entworfen. Ermann hat die isogonischen Linien nach den in den Jahren 1827 bis 1830 beobachteten Werthen der Declination construirt; Barlow's Karte ist für das Jahr 1833 entworfen.

Die Karten Fig. 444, 445 und 446 stellen die isogonischen Linien dar, wie sich ihr Lauf aus den nach der Gaußischen Theorie des Erdmagnetismus, von der alsbald die Rede seyn wird, berechneten Werthen der Declination ergiebt, und zwar für den Erdgürtel zwischen dem 70. Grade nördlicher und südlicher Breite in Merkatorprojection, für die Umgebungen der Pole aber, weil der Lauf der Kurven in der Nähe derselben in dieser Projection zu sehr verzerrt erscheinen würde, in Polarprojection dargestellt, wie dies auch bei den folgenden Inclinations- und Intensitätskarten der Fall ist.

Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine solche Linie, auf welche überall die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit der Richtung des astrono-

mischen Meridians zusammenfällt, schneidet die östliche Spitze von Südamerika ab, läuft östlich von Westindien durch den atlantischen Ocean, um in der Gegend von Philadelphia in den Continent von Nordamerika einzutreten und durch die Hudsonsbai hindurch zu laufen; dann passirt

Fig. 444.



diese Linie ohne Abweichung den magnetischen und den astronomischen Nordpol der Erde, tritt östlich vom weißen Meere in den Continent der alten Welt ein, geht durch das caspische Meer, schneidet die Ostspitze von

Arabien ab, wendet sich dann nach Neuholland, um endlich durch den magnetischen und astronomischen Südpol der Erde in sich selbst zurückzulaufen.

In der Karte Fig. 444 erscheinen zwei Stücke dieser Linie getrennt von

Fig. 445.

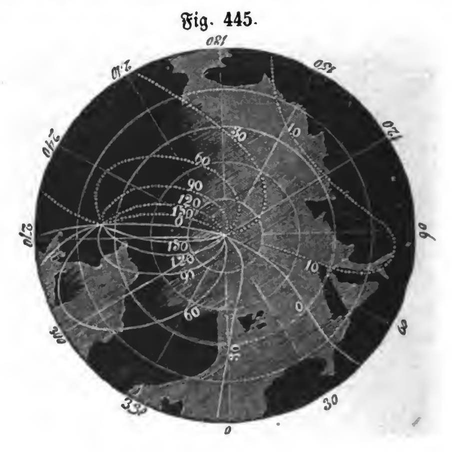
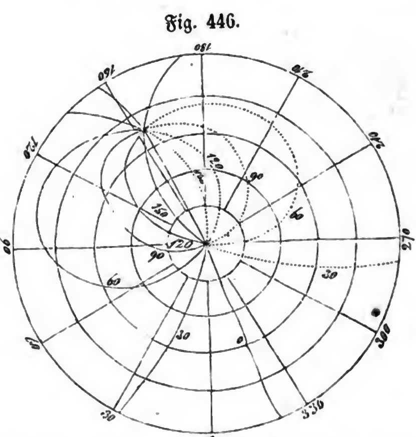


Fig. 446.



einander; die Verbindungsstücke dieser beiden Theile kann man auf den Karten Fig. 445 und 446 verfolgen.

Diese Linie ohne Abweichung, welche um die ganze Erde herumläuft,

theilt die Erdoberfläche in zwei Theile; auf der einen Hälfte, nämlich auf dem atlantischen Ocean, in Europa und Afrika ist die Abweichung der Magnetnadel überall eine westliche; auf der andern Hälfte ist die Abweichung östlich, mit Ausnahme einer kleinen Strecke im östlichen Asien und dem angränzenden Meere, denn hier findet sich eine zweite in sich selbst zurücklaufende Linie, für welche die Abweichung Null ist, und innerhalb des durch diese Kurve eingeschlossenen Raumes ist die Abweichung wieder westlich.

In unseren Karten sind alle Kurven östlicher Abweichung punktirt; die Größe der Declination, welche einer jeden Kurve entspricht, ist stets beigeschrieben.

In der Nähe der Pole bilden die isogonischen Linien ein ziemlich complicirtes System, indem sie in zwei Punkten, nämlich in dem magnetischen und in dem astronomischen Pole, zusammenlaufen; dies rührt jedoch nicht daher, daß die magnetischen Erscheinungen in jenen Gegenden so complicirt sind, sondern nur daher, daß bei der Bestimmung der Declination ein dem Magnetismus selbst eigentlich ganz fremdes Element, nämlich die Richtung des astronomischen Meridians, in Betrachtung zu ziehen ist; durch diese Einmischung geht die Einfachheit verloren. Der magnetische Pol, in welchem alle isogonischen Linien zusammenlaufen, ist allerdings ein magnetisch ausgezeichneter Punkt; denn denken wir uns ganz in der Nähe dieses Pols um denselben einen Kreis gezogen, so wird für alle Punkte dieses Kreises die horizontale Magnetnadel nach diesem Pole hin gerichtet seyn; der Nordpol und der Südpol der Erde sind aber durchaus keine magnetisch ausgezeichneten Punkte, obgleich die isogonischen Linien sich in diesen Polen schneiden; sehen wir nun, woher dies kommt. Auf dem Nordpole selbst fällt die Richtung der horizontalen Magnetnadel sehr nahe mit der Richtung des 60. Längengrades zusammen; in der Nähe dieses Pols rings um denselben herum wird nun die Magnetnadel fast ganz dieselbe Richtung haben, rings um den Pol herumgehend wird man aber deshalb der Reihe nach alle möglichen Werthe der Declination finden, weil alle Mittagslinien nach dem Pole convergiren; eine und dieselbe Richtung der Magnetnadel macht also verschiedene Winkel mit den von allen Seiten her nach dem Pole zusammenlaufenden Meridianen.

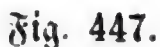
Aehnliche Verwickelungen werden wir bei den folgenden Karten nicht wiederfinden.

Diese Kärtchen können natürlich schon wegen ihrer Kleinheit keinen Anspruch auf Genauigkeit machen, ihr Zweck ist auch nur, ein Bild vom Laufe der magnetischen Kurven zu geben.

Die Karten Fig. 447 und 448 stellen den Lauf der isoklinischen Linien dar. Die isoklinischen Linien verändern sich im Laufe der

Zeit wie die isogonischen. Die erste Inclinationskarte wurde im Jahre 1780 von Hansteen construirt; der jetzige Lauf der isoklinischen Linien weicht schon bedeutend von der damaligen Lage dieser Linien ab.

Die Linie auf der Erdoberfläche, für welche die Inclination gleich 0 ist,


Fig. 447.



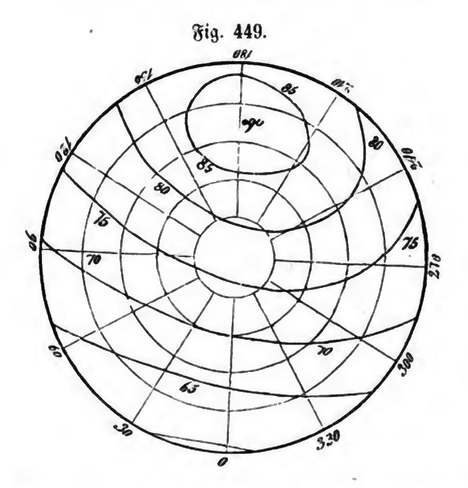
auf welcher also die Inclinationsnadel wagerecht steht, ist der magnetische Aequator. Nördlich vom magnetischen Meridian ist das Nordende, südlich von demselben ist das Südende der Inclinationsnadel nach unten gerichtet.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Stellen der Erdoberfläche, auf welchen die Inclinationsnadel vertikal steht, wo also der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft ganz verschwindet. Solcher

Fig. 448.



Fig. 449.

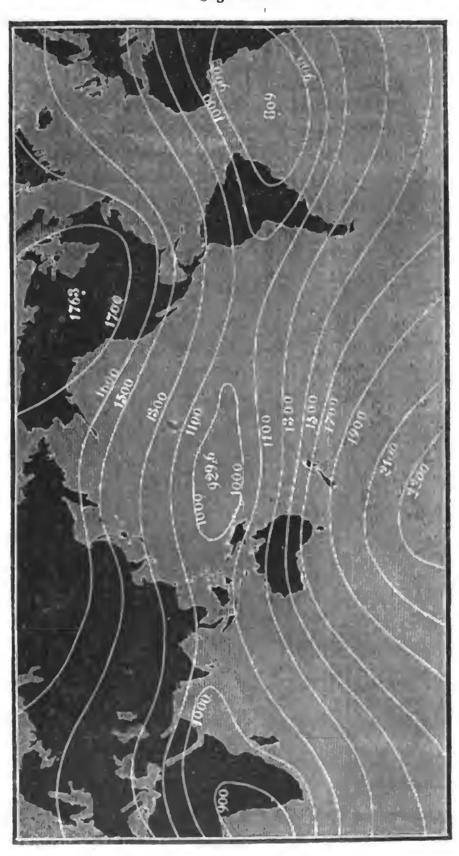


magnetischen Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche, nämlich einen nördlichen und einen südlichen. Nach der Gauß'schen Theorie liegt der nördliche magnetische Pol 3° 30′ nördlich von dem Orte, wo ihn der Capitain Roß fand; beim südlichen magnetischen Pole wird man, wie Gauß

bemerkt, wohl noch eine bedeutend größere Verschiebung zu erwarten haben.

Man kann sich über diese Differenzen zwischen der Rechnung und der

Fig. 450.



Beobachtung nicht wundern, wenn man bedenkt, daß die Data, welche Gauß zur Ausführung seiner Theorie zu Grunde legen konnte, selbst mehr oder weniger ungenau sind, daß die Angaben verschiedener Beobachter für einen und denselben Ort oft zu bedeutend differiren, als daß man

annehmen könnte, diese Unterschiede seyen den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft im Laufe der wenigen Jahre zuzuschreiben, welche zwischen den Beobachtungszeiten beider liegen.

Die Größe der entsprechenden Inclination ist jeder Kurve unserer Figuren beigeschrieben. Die mit 90 bezeichneten Punkte in Fig. 448 und 449 sind die magnetischen Pole, es sind dies dieselben Punkte, in welchen die Declinationskurven in Fig. 445 und 446 zusammenlaufen.

Diebeiden magnetischen Pole der Erde liegen einander nicht diametral gegenüber, d. h. eine die beiden Pole verbindende gerade Linie geht nicht durch den Mittelpunkt der Erde, sondern diese Linie bildet eine Sehne, welche von dem durch die beiden Pole gelegten größten Kreise einen Bogen von 161° 13′ abschneidet.

In den Karten Fig. 450, 451 und 452 sind die isodynamischen Linien nach den berechneten Werthen der ganzen Intensität aufgetragen. Man sieht, daß es auf der nördlichen Halbkugel zwei Orte giebt, an welchen die Intensität ein Maximum, d. h. größer als in allen rund herum gelegenen Orten ist; ein solches Maximum der Intensität findet sich in Nordamerika etwas westlich von der Hudsonsbay, Fig. 450, ein zweites im nördlichen Asien, Fig. 451. Dieser Umstand hat einige Gelehrte veranlaßt, die Existenz von zwei magnetischen Polen auf der nördlichen Halbkugel anzunehmen; um zu entscheiden, ob dies wirklich der Fall ist, muß man vor allen Dingen feststellen, was man unter einem magnetischen Pole der Erde versteht. Gewöhnlich nennt man, wie wir es auch gethan haben, diejenigen Orte der Erdoberfläche magnetische Pole, an welchen der horizontale Theil der Erdkraft verschwindet; man könnte aber unter einem magnetischen Pole auch eine solche Stelle verstehen, für welche die Intensität des Magnetismus ein Maximum ist. Diese beiden Begriffe sind aber nun durchaus nicht identisch, es kann an einem Orte die horizontale Composante des Erdmagnetismus verschwinden, die Inclinationsnadel kann sich vertikal stellen, ohne daß deshalb hier auch ein Maximum der Intensität zu finden ist; umgekehrt kann an einem Orte die Intensität des Erdmagnetismus sehr wohl ein Maximum seyn, ohne daß sich die Inclinationsnadel vertikal stellt.

Nimmt man das Wort Pol im gewöhnlichen Sinne, so giebt es nur einen magnetischen Nordpol. An diesem Nordpole ist die Intensität des Erdmagnetismus kein Maximum; an den beiden Orten aber, für welche die Intensität ein Maximum ist, stellt sich die Inclinationsnadel nicht vertikal, diese Orte sind also nach unserer Begriffsbestimmung keine magnetischen Pole.

Die den isodynamischen Linien beigeschriebenen Zahlen geben den Werth der Intensität nicht nach dem schon im ersten Theile besprochenen absoluten

Maaße, sondern nach der bisher üblichen willkürlichen Einheit an, nach welcher die Intensität für London 1,372 ist; nur sind diese Zahlen, um

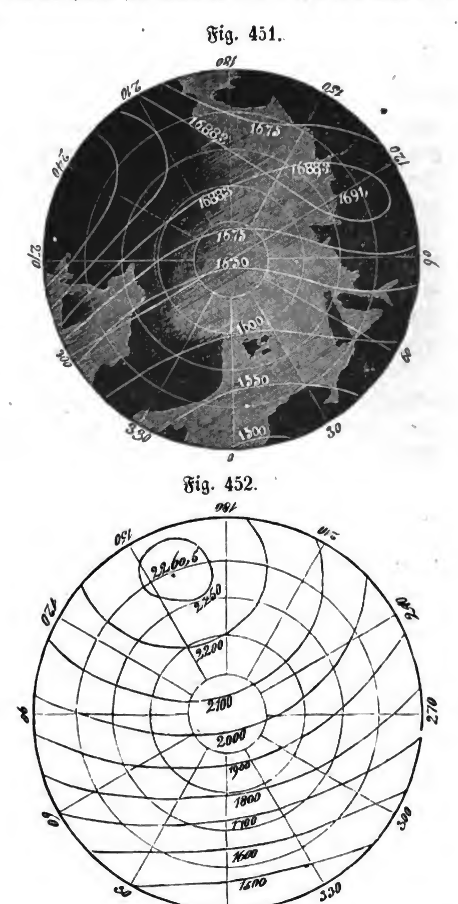


Fig. 451.

Fig. 452.

Brüche zu vermeiden, noch mit 1000 multiplicirt. Um die Zahlen unserer Karte auf das absolute Maaß zu reduciren, sind sie nur mit 0,0034941 zu multipliciren.

229 **Theorie des Erdmagnetismus.** Die einfachste und älteste Hypothese, welche zur Erklärung der Erscheinungen des Erdmagnetismus aufge-

stellt worden, ist die, einen kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde anzunehmen, oder vielmehr anzunehmen, der Magnetismus sey in der Erde so vertheilt, daß die Gesammtwirkung nach außen der Wirkung eines fingirten kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde gleich sey. Daß eine solche Annahme sich mit den Beobachtungen nicht verträgt, sieht man auf den ersten Blick. Nach dieser Hypothese wären die magnetischen Pole diejenigen Punkte der Erdoberfläche, in welchen dieselbe von der verlängerten Axe des Centralmagneten getroffen wird; in diesen Polen müßte zugleich die Intensität ein Maximum seyn; der magnetische Aequator wäre ein größter Kreis, und alle isoclinischen Linien mit demselben parallel u. s. w. Tobias Mayer hat diese Hypothese dadurch modificirt, daß er den fingirten Magneten um den 7. Theil des Erdhalbmessers von dem Mittelpunkte der Erde entfernt annahm; Hansteen versuchte, die Erscheinungen durch die Annahme von zwei kleinen Magneten von ungleicher Lage und Stärke zu erklären. Alle diese Versuche gaben jedoch keine genügenden Resultate.

Gauß hat endlich einen andern Weg eingeschlagen, indem er nicht wie seine Vorgänger von einer einfachen Hypothese über die magnetische Vertheilung in der Erde ausging und dann die Resultate dieser Hypothese mit der Erscheinung verglich, sondern er suchte gleich die Frage zu beantworten: wie muß dieser große Magnet beschaffen seyn, um den Erscheinungen Genüge zu leisten?

Die Gauß'sche Theorie läßt sich ohne Hülfe höherer Rechnung nicht entwickeln, da es sich hier darum handelt, das Zusammenwirken aller magnetischen Kräfte, die keineswegs gleichförmig und regelmäßig vertheilt sind, in mathematischen Formen darzustellen; wir müssen uns also darauf beschränken, die Grundideen dieser Theorie anzudeuten.

Die Grundlage der Gauß'schen Theorie ist die Voraussetzung, daß die erdmagnetische Kraft die Gesammtwirkung der magnetisirten Theile des Erdkörpers ist. Das Magnetisirtseyn stellt er sich als eine Scheidung der magnetischen Flüssigkeit in der Weise vor, wie wir dies schon im zweiten Bande, Seite 9, entwickelt haben. Eine Vertauschung dieser Vorstellungsart mit der Ampère'schen würde in den Resultaten nichts ändern. Dies vorausgesetzt, wird die Gesammtheit aller magnetisirten Theile des Erdballs auf jeden Punkt im Raume eine bestimmte Wirkung ausüben, und diese Wirkung wird von einem Punkte des Raums zum andern sich ändern müssen. Wir haben hier nur diejenigen Punkte des Raumes zu betrachten, welche auf der Erdoberfläche liegen. Zunächst ist demnach klar, wie auch der freie Magnetismus im Innern der Erde vertheilt seyn mag, die Wirkung wird in verschiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht dieselbe seyn, sie wird von der geographischen Länge und Breite des Ortes abhängen, den

man gerade betrachtet. Die Wirkungen des Erdmagnetismus müssen sich also durch Gleichungen ausdrücken lassen, in denen die Länge und die Breite die veränderlichen Größen sind, die Constanten dieser Gleichungen aber hängen von der Art und Weise ab, wie der freie Magnetismus in der Erde vertheilt ist.

Zunächst entwickelt Gauß auf diese Weise eine Gleichung für den Werth des magnetischen Potentials, einer Größe, aus welcher sich die Werthe der nördlichen, westlichen und vertikalen Composante der erdmagnetischen Kraft und aus diesen dann wieder Declination, Inclination und totale Intensität leicht berechnen lassen.

Das magnetische Potential, welches also zunächst als eine wichtige Hülfsgröße für die Berechnung des Erdmagnetismus dient, hat aber auch eine physikalische Bedeutung. Denken wir uns an irgend einer Stelle der Erdoberfläche eine vertikale Röhre angebracht, deren Querschnitt 1 Quadratmillimeter beträgt, und diese Röhre bis zu einer Höhe, in welcher die Wirkung des Erdmagnetismus unmerklich wird, mit nordmagnetischem Fluidum in der Weise gefüllt, daß jedes Kubikmillimeter 1 Maaß (nach der bekannten absoluten Einheit) dieses Fluidums enthält, so stellt uns das magnetische Potential den Druck dar, welchen der Boden dieser Röhre dadurch auszuhalten hat, daß der Erdmagnetismus die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit anzieht; da, wo das nordmagnetische Fluidum von dem Erdmagnetismus abgestoßen werden würde, hat man sich die Röhre in gleicher Weise mit südmagnetischem Fluidum gefüllt zu denken.

In den Karten Fig. 453, 454 und 455 sind die Linien gleicher Werthe des magnetischen Potentials dargestellt; die beigeschriebenen Zahlen beziehen sich nicht auf absolutes Maaß, sondern auf die bekannte willkürliche Einheit; sie können durch Multiplication mit 0,0034941 auf absolutes Maaß reducirt werden.

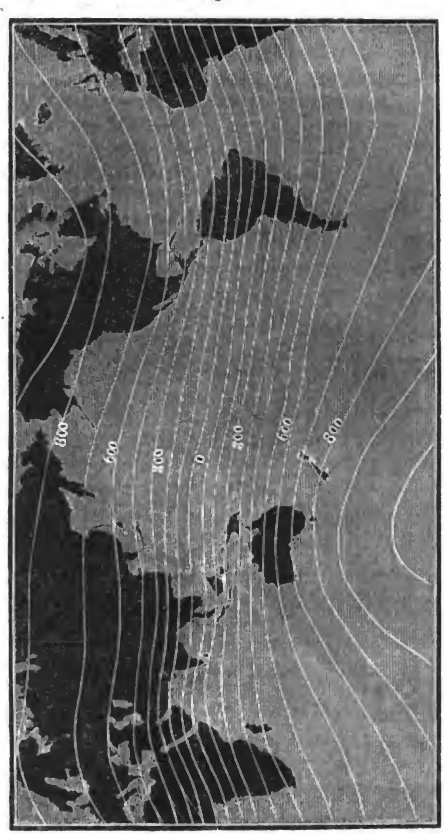
Die Kurven gleicher Werthe des magnetischen Potentials wollen wir Gleichgewichtslinien nennen.

Aus dem Laufe der Gleichgewichtslinien ergiebt sich die Richtung der horizontalen Magnetnadel auf eine sehr einfache Weise, indem, wie Gauß gezeigt hat, die Richtung der Declinationsnadel stets rechtwinklig auf den Gleichgewichtslinien stehen muß. Aus dem Laufe dieser Kurven kann man die Richtung der Boussole für jeden Ort der Erdoberfläche auf eine ungleich einfachere und übersichtlichere Weise ableiten, als es mittelst der Declinationskarte möglich ist.

Zwischen den Werthen des magnetischen Potentials und der horizontalen Intensität findet folgende Beziehung Statt. Denken wir uns auf einer Karte nur solche Gleichgewichtslinien gezogen, welche gleichen Differenzen des magnetischen Potentials entsprechen, wie dies z. B. in der Karte

Fig. 453 der Fall ist, wo die Kurven den immer um 100 wachsenden Werthen des magnetischen Potentials entsprechen, so ist die horizontale

Fig. 453



Intensität der Entfernung der Gleichgewichtskurven umgekehrt proportional; die horizontale Intensität ist also für solche Gegenden am größten, für welche die Gleichgewichtslinien am dichtesten sind; je weiter die gleichen Differenzen des Potentials entsprechender Kurven auseinanderrücken, desto kleiner wird die horizontale Intensität.

Aus der horizontalen Intensität ergiebt sich leicht die nördliche und westliche Composante, da ja durch den Lauf der Gleichgewichtslinien auch die Richtung der horizontalen magnetischen Kraft bestimmt ist.

Aus den Werthen des magnetischen Potentials ergeben sich auch die Werthe der vertikalen Intensität; doch können wir diesen Zusammen-

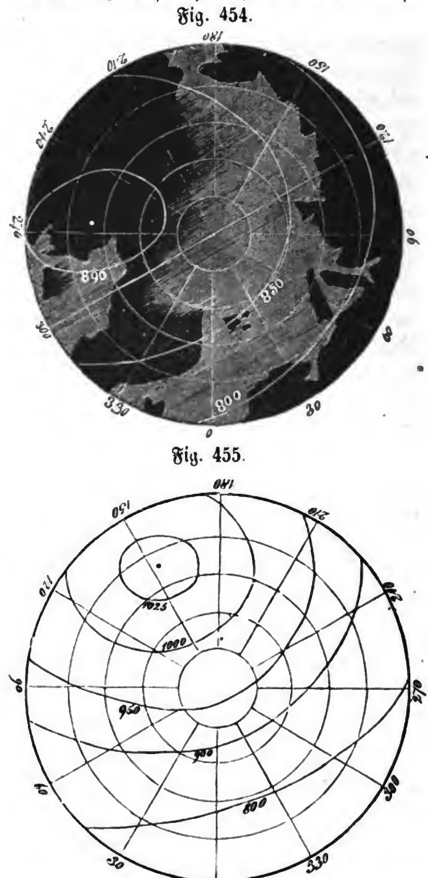


Fig. 454.

Fig. 455.

hang hier nicht weiter verfolgen. Sind aber erst die drei Composanten der erdmagnetischen Kraft bestimmt, so kann man auch noch leicht die Größe und Richtung der ganzen Intensität ermitteln.

Wenn man in den Werthen für das magnetische Potential und die drei Composanten der erdmagnetischen Kraft nur diejenigen Glieder noch berücksichtigt, welche mit den 4ten Potenzen der veränderlichen Größen (Länge und Breite) behaftet sind, die höheren Potenzen aber vernachlässigt, so bleiben in den Werthen noch 24 constante Coëfficienten zu bestimmen. Diese Coëfficienten können wir nun nicht a priori aus der Vertheilung des freien Magnetismus in der Erde ableiten, weil wir ja noch nichts über die Art wissen, wie der freie Magnetismus vertheilt ist; die 24 Coëfficienten müssen demnach durch die Combination von 24 verschiedenen Beobachtungen bestimmt werden. Die genaue Bestimmung der 3 Elemente des Erdmagnetismus an 8 verschiedenen Orten der Erdoberfläche würden also hinreichen, um die 24 Coëfficienten zu ermitteln.

Sind einmal die constanten Coëfficienten bekannt, so kann man nach den erwähnten Gleichungen die Werthe der drei Composanten der erdmagnetischen Kraft und folglich auch die Declination, die Inclination und die ganze Intensität für jeden Ort der Erdoberfläche berechnen, wenn man für die Länge und Breite die diesem Orte entsprechenden Zahlenwerthe in die Gleichungen setzt.

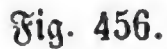
Da es an einer hinlänglich genauen Bestimmung aller drei Elemente des Erdmagnetismus für 8 weit genug von einander entfernte Orte der Erdoberfläche fehlt, so muß man mehr Beobachtungen zu Hülfe nehmen, als eigentlich zur Bestimmung der Coëfficienten nöthig sind. Auf diese Weise werden sich für denselben Coëfficienten mehrere verschiedene Werthe ergeben, und man hat alsdann nach der Methode der kleinsten Quadrate den wahrscheinlichsten Mittelwerth für jeden Coëfficienten zu ermitteln.

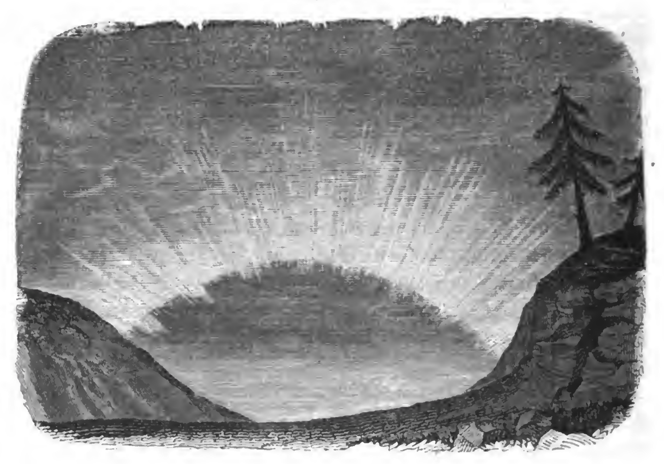
Das Nordlicht gehört unstreitig zu den prächtigsten, aber auch zu den räthselhaftesten Erscheinungen; es wird hier, wie dies gewöhnlich geschieht, im Kapitel vom Erdmagnetismus abgehandelt, weil es mit demselben in einer gewissen Beziehung zu stehen scheint, indem das Phänomen stets in der Richtung des magnetischen Meridians beobachtet wird und sein Erscheinen in der Regel bedeutende Oscillationen der Declinationsnadel veranlaßt. 230

In unseren Gegenden ist die Erscheinung des Nordlichts ziemlich selten; sehr schöne Nordlichter wurden in Deutschland unter anderen am 7. Januar 1831 und im Februar 1836 beobachtet. Fig. 456 soll das Nordlicht darstellen, wie es gewöhnlich bei uns gesehen wird; es ist jedoch zu bemerken, daß es schwierig ist, durch Beschreibung und Abbildung eine recht klare Vorstellung des Phänomens zu geben.

In höheren Breiten, in den nördlichen Theilen von Europa, Asien und Amerika sind die Nordlichter weit häufiger und ungleich prächtiger als bei uns.

Möge es erlaubt seyn, hier die Beschreibung eines Nordlichtes folgen zu lassen, wie es Lottin beobachtete. Das meteorologische Observatorium, auf welchem Lottin 8 Monate, vom September 1838 bis zum





April 1839, zubrachte, war zu Bossekop auf der Küste von West-Finnmark unter dem 70. Grade nördlicher Breite aufgeschlagen worden. In 206 Tagen beobachtete man daselbst 143 Nordlichter, und zwar 64 während der längsten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. November bis zum 25. Januar dauert.

»Des Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig nach Norden hin in einer Höhe von 4 bis 6° herrscht; dieser lichte Streifen nimmt allmälig die Gestalt eines Bogens von blaßgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden sich auf die Erde aufstützen.

»Dieser Bogen steigt allmälig in die Höhe, während sein Gipfel stets nahe in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.

»Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen, und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieser Strahlen zeigt immer den lebhaftesten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmäßigen Bogen. Die Länge der Strahlen ist sehr verschieden, sie convergiren aber nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des Südendes der Inclinationsnadel angedeutet ist. Manchmal verlängern sich die

Strahlen bis zu diesem Punkte und bilden so ein Bruchstück eines ungeheuren Lichtgewölbes.

»Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu steigen; in seinem Glanze zeigt sich eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fuße zum andern; diese Art Lichtstrom zeigt sich oft mehrmals hinter einander, aber häufiger von Westen nach Osten als in entgegengesetzter Richtung. Manchmal, aber selten, folgt die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erste, und wenn der Glanz der Reihe nach alle Strahlen von Westen nach Osten durchlaufen hat, nimmt seine Bewegung eine entgegengesetzte Richtung an und kehrt zu seinem Ausgangspunkte zurück, ohne daß man eigentlich recht sagen kann, ob die Strahlen selbst eine horizontale Verrückung erleiden, oder ob sich der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne daß die Strahlen ihre Stelle verändern.

»Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich ist. Manchmal verläßt einer der Füße oder selbst beide den Horizont; dann werden diese Biegungen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erscheint nur als ein langes Strahlenband, welches sich entwickelt, sich in mehrere Theile trennt und graziöse Windungen bildet, welche sich fast selbst schließen und das bilden, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen, sie übertrifft die der Sterne erster Größe; die Strahlen schießen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und entwickeln sich, wie die Windungen einer Schlange; nun färben sich die Strahlen, die Basis ist roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blaßgelbes Licht. Diese Farben behalten immer ihre gegenseitige Lage und haben eine bewundernswürdige Durchsichtigkeit. Das Roth nähert sich einem hellen Blutroth, das Grün einem blassen Smaragdgrün. —

»Der Glanz nimmt ab, die Farben verschwinden, die ganze Erscheinung erlischt entweder plötzlich, oder sie wird nach und nach schwächer. Einzelne Stücke des Bogens erscheinen wieder, er bildet sich von Neuem, er setzt seine aufsteigende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith; die Strahlen erscheinen durch die Perspective immer kürzer, alsdann erreicht der Gipfel des Bogens das magnetische Zenith, einen Punkt, nach welchem die Südspitze der Inclinationsnadel hinweist. Nun sieht man die Strahlen von ihrem Fuße aus. Wenn sie sich in diesem Augenblicke färben, so zeigen sie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt. — — —

»Unterdessen bilden sich neue Bogen am Horizonte, welche entweder anfangs verschwommen erscheinen, oder durch lebhafte Strahlen gebildet sind.

Sie folgen einander, indem alle fast dieselben Phasen durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen von einander bleiben; man hat deren bis zu 9 gezählt, welche, auf die Erde gestützt, durch ihre Anordnung an die oberen Coulissen unserer Theater erinnern, die, auf die Seitencoulissen gestützt, den Himmel der Theaterscene bilden. Manchmal werden die Zwischenräume kleiner, mehrere dieser Bogen drängen einander. — So oft die Strahlen am hohen Himmel das magnetische Zenith überschritten haben, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte zu convergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kommenden die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perspective, und ein Beobachter, welcher in diesem Augenblicke weiter nach Süden hin sich befindet, wird sicherlich nur einen Bogen sehen können. —

»Denkt man sich nun ein lebbaftes Schießen von Strahlen, welche beständig sowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren Glanz sich ändern, daß sie die herrlichsten rothen und grünen Farbentöne zeigen, daß eine wellenartige Bewegung stattfindet, daß Lichtströme einander folgen und endlich, daß das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure prächtige Lichtkuppel zu seyn scheint, welche über einen mit Schnee bedeckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, auf dessen Beschreibung man verzichten muß.

»Die Krone dauert nur einige Minuten; sie bildet sich manchmal plötzlich, ohne daß man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten sieht man zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon.

Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich vom Zenith, immer blassere Bogen bildend, welche in der Regel verschwinden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beobachtet man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher scheint das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen scheinen verwaschen, sie bilden schwache, unbestimmt begränzte Lichtschimmer, welche endlich, kleinen Cumulus ähnlich, auf dem Himmel gruppirt sind. — Allmälig erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar.

»Manchmal sieht man die Strahlen noch, wenn der Tag schon angebrochen, wenn es schon so hell ist, daß man lesen kann; dann aber verschwinden sie schnell, oder sie werden vielmehr um so bestimmter, je mehr die Helligkeit zunimmt, sie nehmen eine weißliche Farbe an und vermischen sich so mit den Cirrostratus, daß man sie nicht mehr von diesen Wolken unterscheiden kann.«

Dies ist die Erscheinung des Nordlichts, wenn sie sich in ihrer ganzen

Pracht entwickelt, aber, mag nun der Zustand der Atmosphäre, oder mögen die Umstände, welche die Erscheinung veranlassen, nicht immer ganz günstig seyn, ein vollständiges Nordlicht wird selbst in den Polargegenden nur selten beobachtet. Bald ist die Krone, bald sind die Bogen unvollständig; oft wird das Licht durch Wolken aufgefangen, welche auf mannigfache Weise die regelmäßige Gestalt des Nordlichts modificiren. Man bemerkt alsdann nach Norden hin nur ein ungewöhnliches Licht; allein es ist verschwommen, die Erscheinung ist undeutlich.

Aehnliche Erscheinungen sind von Seefahrern auch in den Polargegenden der südlichen Hemisphäre beobachtet worden. Man kann sie Südlichter nennen.

Nachträge.

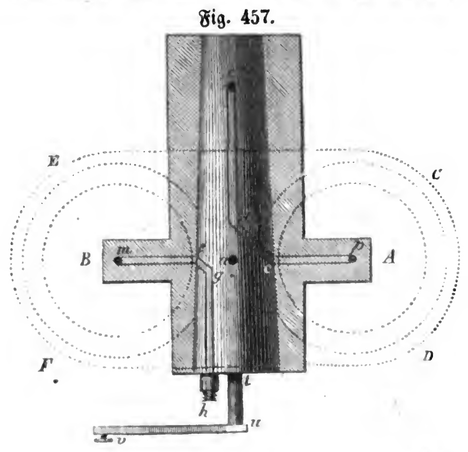
Der Graßmannsche Hahn für zweistiefelige Luftpumpen.

Auf S. 148 des ersten Bandes wurde die Einrichtung des Babinet'schen Hahnes beschrieben, dessen Wirkung darin besteht, daß der schädliche Raum, welcher sich bei der gewöhnlichen Einrichtung der Luftpumpen mit Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre füllt, nur noch verdünnte Luft enthält, daß also mit Hülfe desselben eine viel weiter gehende Verdünnung möglich wird als ohne denselben.

Schon im Jahre 1819 hat aber Professor Graßmann einen Hahn erdacht und im 65. Bande von Gilberts Annalen beschrieben, welcher denselben Zweck auf eine sehr einfache Weise erfüllt. Nach diesem Principe sind in mehreren der ausgezeichnetsten Werkstätten von Berlin viele treffliche Luftpumpen construirt worden; trotzdem aber findet man diese Einrichtung außer dem erwähnten Bande von Gilbert's Annalen nur noch in der ersten Auflage von Mitscherlichs Lehrbuche der Chemie beschrieben.

Die Einrichtung des Hahns ist aus Fig. 457 zu ersehen. *CDEF* ist

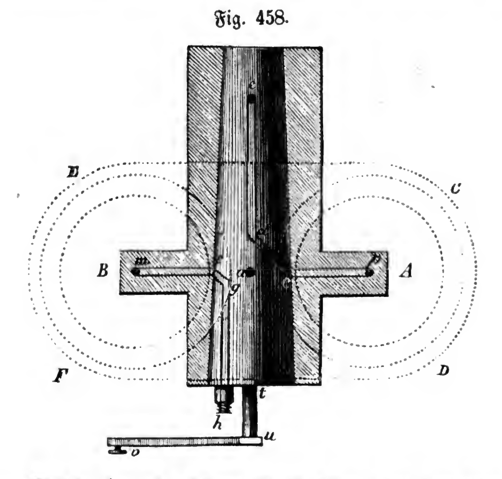
Fig. 457.



die Bodenplatte, worauf die Ansätze zum Ansetzen der Stiefel befindlich sind. Vom Boden des Stiefels A geht ein Kanal zuerst vertikal herunter, dann aber horizontal von p nach c, wo er an den Hahn stößt; eben so ist es auf der andern Seite; vom Boden des Stiefels B geht ein Kanal zuerst vertikal herunter, dann horizontal von m nach f. Der Hahn selbst ist dreifach durchbohrt. Ein Kanal im Hahn geht bei der Stellung, welche die Figur darstellt, von e vertikal herunter, dann in der Richtung der Axe horizontal fort bis d, und dann von d bis c; ein zweiter Kanal führt von f nach g und von g nach h, ein dritter endlich erscheint in unserer Figur bei a ganz verkürzt, er geht in der Mitte zwischen c und f rechtwinkelig zu der Ebene der Kanäle edc und fgh durch den Hahn durch.

Unsere Figur zeigt die Stellung des Hahns, wie sie sein muß, wenn der

Fig. 458.



Kolben im Stiefel A im Aufsteigen ist. Die Luft geht aus dem Recipienten über e, d, c und p in den Cylinder A, auf der andern Seite wird durch den niedergehenden Kolben die Luft aus dem Cylinder B durch den Kanal $mfgh$ ausgetrieben.

Denken wir uns zuerst den Kanal a ganz weg. Wenn man, nachdem der Kolben in B unten, der in A aber oben angekommen ist, den Hahn dreht, und zwar so, daß der Handgriff bei v, welcher jetzt nach der linken Seite steht, nach der rechten zu liegen kommt, so wird der Kanal hgf im Hahn so zu liegen kommen, daß er an pc stößt, der Kanal edc aber wird an mf stoßen, so daß, wenn nun der Kolben in B auf-, der in A aber

niedergeht, die Luft aus dem Recipienten nach *B* gelangt, die in *A* enthaltene aber ausgetrieben wird.

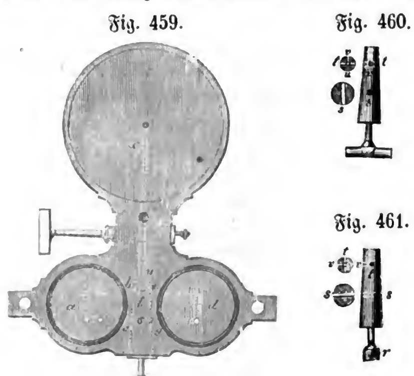
Wenn bei der Stellung des Hahns in unsrer Figur der Kolben in *B* unten angekommen ist, so befindet sich im Kanal *mf* und in den unvermeidlichen Zwischenräumen unter dem Kolben noch Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre, und wenn man den Hahn dann um 180° dreht, so verbreitet sich diese Luft in der schon verdünnten des Recipienten, so daß durch die im schädlichen Raume zurückbleibende Luft eine sehr bedeutende Verdünnung unmöglich gemacht wird.

Wenn nun aber der Kanal *a* vorhanden ist, so wird, wenn man den Hahn aus der Stellung unsrer Figur herausdreht, nach $1/4$ Umdrehung dieser Kanal *a* horizontal stehend von *f* nach *c* gehen, so daß nun die beiden Stiefel mit einander in Verbindung stehen; die in *mf* abgesperrte Luft wird sich also nun durch *a* in den Cylinder *A* verbreiten, welcher verdünnte Luft enthält, so daß nun im schädlichen Raume *mf* nicht Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre, sondern bedeutend verdünntere Luft zurückbleibt.

Das Wesentliche der Einrichtung besteht also darin, daß, wenn der Kolben in einem Cylinder unten angekommen ist, nicht gleich der schädliche Raum unter demselben mit dem Recipienten in Verbindung gebracht wird, sondern erst mit dem andern Cylinder, in welchem der Kolben oben ist, und welcher Luft enthält, welche eben so verdünnt ist wie die im Recipienten; dadurch wird aber die Luft im schädlichen Raume fast bis zu demselben Grade verdünnt, sie kann also kaum noch einen merklichen Nachtheil bringen.

Man hat mich darauf aufmerksam gamacht, daß die auf S. 148 gegebene Beschreibung des B a b i n e t'schen Hahnes nicht ganz verständlich sey, was zum Theil daher rühren mag, daß in der Beschreibung die Buchstaben *e* und *c* verwechselt sind; ich benutze die Gelegenheit noch einige Bemerkungen über die Wirkungsweise des B a b i n e t'schen Hahnes beizufügen, die wohl jede Unklarheit heben werden.

Fig. 459. Fig. 460. Fig. 461.



Wenn der Hahn die Stellung Fig. 460 hat, so steht der Kanal *t* im

Hahn wagerecht und verbindet die Kanäle bei *b* und *e*, so daß die Luft aus dem Recipienten, welche durch den Kanal *u* in den Hahn eintritt, sich nach der rechten und linken Seite verbreiten kann. In dieser Stellung, in welcher der Hahn gar keine besondere Wirkung hervorbringt, bleibt er bis zu der so möglichen Gränze der Verdünnung.

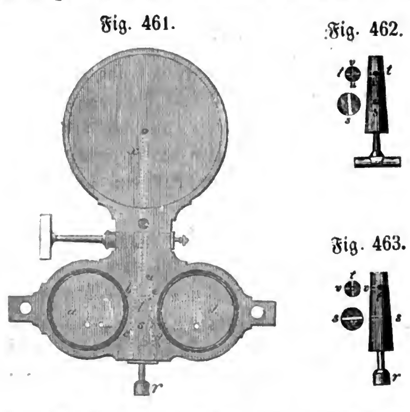


Fig. 461. Fig. 462. Fig. 463.

Nun wird er in die Stellung Fig. 463 gebracht. Es sind jetzt beständig die zwei Cylinder durch den Kanal *s* verbunden, aus dem Recipienten kann aber die Luft nur in den Cylinder *a* treten.

Wenn der Kolben in *a* niedergeht, so wird bei der erstern Stellung des Hahnes die Luft mehr und mehr comprimirt, bis sie endlich das Ventil im Kolben hebt und entweicht; es bleibt dann natürlich Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre im schädlichen Raume unter dem Kolben in *a* zurück.

Wenn aber der Hahn die Stellung Fig. 463 hat, so wird beim Niedergange des Kolbens in *a* die verdünnte Luft unterhalb desselben nicht comprimirt, sondern in den andern Cylinder hinübergeschafft. Beginnt nun der Kolben in *d* niederzugehen, so wird das Bodenventil in *d* geschlossen, und im schädlichen Raume von *a* bleibt nur verdünnte Luft zurück.

Der Hauptunterschied zwischen dem Graßmann'schen und dem Babinet'schen Hahn besteht also darin, daß der erstere fortwährend in Wirksamkeit ist, während die des letzteren erst beginnt, wenn eine bestimmte Gränze der Verdünnung erreicht ist; ferner daß bei der Graßmann'schen Einrichtung beide Stiefel von Anfang an abwechselnd evacuirend wirken, während beim Babinet'schen Hahn die Luft aus dem Recipienten in den einen Stiefel und aus diesem dann in den andern hinübergebracht wird.

Lichtenbergische Figuren.

Die im zweiten Theile auf S. 104 erwähnten Lichtenbergischen Figuren sind hier abgebildet. Lichtenberg setzte, um diese Figuren zu erhalten, ein Metallrohr auf die Harzplatte und ließ auf dieses den elektrischen Funken schlagen. Ein positiver Funke liefert eine strahlende Figur Fig. 464,

Fig. 464.

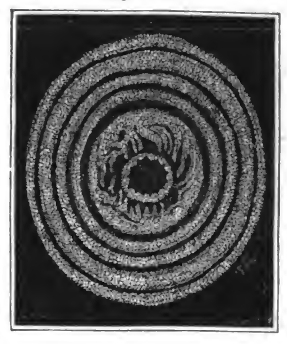
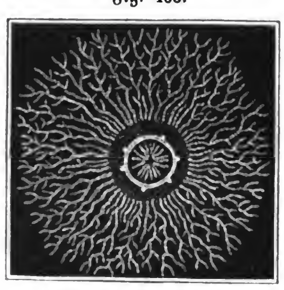


Fig. 465.



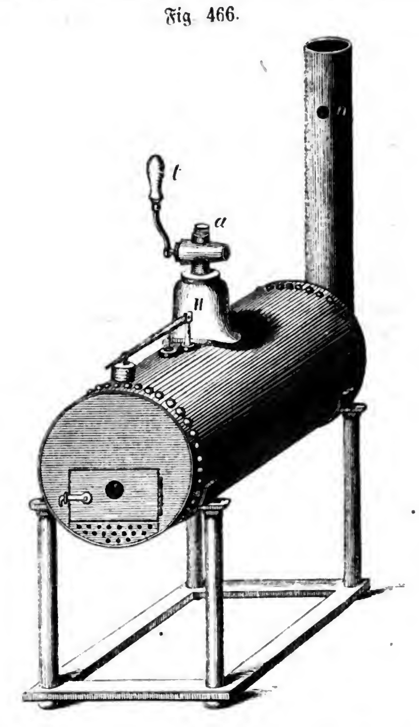
ein negativer eine ringförmige, Fig. 465. Das anzuwendende Pulver muß recht fein seyn und wird am besten durch recht feine Leinwand durchgebeutelt. Das Pulver wird durch Reibung an den Oeffnungen der Leinwand elektrisch und setzt sich auf denjenigen Stellen der Harztafel ab, welche die entgegengesetzte Elektricität haben.

Die Hydroelektrisirmaschine.

Schon auf S. 82 des zweiten Bandes war von den außerordentlichen elektrischen Wirkungen die Rede, welche durch den aus den engen Oeffnungen eines Dampfkessels ausströmenden Dampf hervorgebracht werden, erst jetzt aber bin ich im Stande eine genauere Beschreibung einer

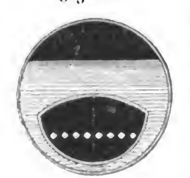
Hydroelektrisirmaschine mittheilen zu können. Fig. 466 stellt einen solchen Apparat dar, wie ihn Professor Eisenlohr in England hat anfertigen

Fig. 466.



lassen. Der Dampfkessel, welcher 44 Centimeter im Durchmesser hat und 96 Centimeter lang ist, ruht auf vier Glasfüßen. Die Heizung ist inwendig in der Weise wie bei den Dampfkesseln auf Dampfschiffen angebracht, wie man dies aus dem Durchschnitt des Kessels Fig. 467 ersehen kann.

Fig. 467.



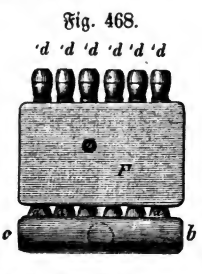
Oben auf dem Dampfkessel befindet sich ein Hut, auf welchem ein kurzes durch einen Hahn verschließbares Messingrohr befestigt ist; auf dieses kurze Rohr können dann die Ausströmungsöffnungen aufgeschraubt werden, die alsbald näher beschrieben werden sollen.

Vor dem Hute sieht man ein Sicherheitsventil, dessen Gewicht verschiebbar ist und welches so weit

herausgerückt werden kann, daß der Dampf einen Druck von 90 Pfund auf den Quadratzoll ausüben muß, um das Ventil zu heben.

Auf der abgewandten Seite des Dampfkessels ist ein Glasrohr angebracht, welches oben und unten mit dem Kessel in Verbindung steht, so daß man an diesem Rohre gerade so wie bei Locomotiven den Wasserstand sehen kann.

Fig. 468.



In Fig. 468 ist der Apparat mit den Ausströmungsöffnungen abgebildet, welcher auf den Dampfkessel aufgeschraubt wird, und zwar von oben gesehen. Bei *a* Fig. 466 wird ein gußeisernes Rohr *bc* von ungefähr 24^cm^ Länge und 5^cm^ Durchmesser befestigt. Aus diesem Rohre tritt dann der Dampf durch 6 horizontale Röhren *d d'* aus, welche durch einen Kasten von Messingblech hindurchgehen, welcher mit kaltem Wasser gefüllt wird, so daß ein Theil des durch die Röhren strömenden Dampfes condensirt wird, was die Wirkung sehr verstärkt.

Auf eine Oeffnung *o* im obern Deckel des Kastens *F* wird ein Messingrohr aufgesetzt, welches bei *n* Fig. 466 in den Schornstein führt und durch welches die im Kasten *F* gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 469.

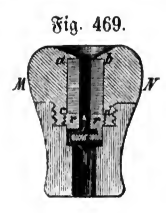


Fig. 469 stellt die in Fig. 468 mit *d'* bezeichneten Ausströmungsöffnungen im Durchschnitt und zwar in $1/2$ der natürlichen Größe dar. An das Ende des Rohres wird ein Messingstück *MN* eingeschraubt, in welchem Holzpflock *abcd* steckt, welcher das Ende der Ausströmungsröhre bildet. Dieser der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Messingstück *MN* eingeschraubten kurzen Messingcylinder *r* an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbohrten Cylinder *r* ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, daß der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muß, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Wenn der Apparat Fig. 468 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffs *t* Fig. 466, den Absperrhahn geöffnet, der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, daß man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen

stellt, welche an einem messingenen Stabe befestigt mit dem Boden in leitender Verbindung stehen. Dieser Stab steht auf einem Glasfuße, so daß man ihn isoliren kann, um zu zeigen, daß der Dampf in der That die entgegengesetzte Elektricität des Kessels hat.

Mit dieser Hydroelektrisirmaschine läßt sich eine Batterie von 36 Quadratfuß Oberfläche in Zeit von 30 Sekunden vollständig laden.

Zu wissenschaftlichen Versuchen über die Natur der hier erzeugten Elektricität hat man das Maximum der Wirkung gar nicht nöthig, man braucht nur eine einzige Ausströmungsöffnung anzuschrauben. Um diese anzuschrauben, gehen bei dem beschriebenen Apparate auf der rechten und linken Seite des Hutes *H* noch Röhren mit Hähnen hervor, die in unsrer Zeichnung weggelassen sind. Man könnte diese Ausströmungsröhren wohl auch so einrichten, daß man sie bei *a* aufschrauben könnte.

Daß die Elektricität hier wirklich durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Ausflußkanals und nicht etwa durch die Dampfbildung erzeugt wird, geht daraus hervor, daß augenblicklich alle Elektricität verschwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität ist es wesentlich, daß schon condensirte Wassertheilchen durch den ausströmenden Dampf mit durch die Ausströmungsröhren durchgetrieben werden, deshalb das Condensationsapparat *F* Fig. 468. Wenn die Ausströmungsröhren lang genug sind, ist kein besonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, so ist der Kessel negativ, der Dampf positiv elektrisch; dasselbe ist der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläsernen Dampfmündung. Wendet man statt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, so zeigt der Kessel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausströmungsröhre bringt, so wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch. Um das Terpentinöl oder auch andere Flüssigkeiten bequem in die Ausströmungsröhre einbringen zu können, wendet man eine Vorrichtung an, welche durch Fig. 470 angedeutet ist. *a b* ist ein Stück des Ausströmungsrohres; aus demselben geht eine Röhre vertikal in die Höhe, welche durch einen Hahn geöffnet und geschlossen werden kann; über diesem Hahn befindet sich eine trichterförmige Erweiterung, in welche die Flüssigkeit eingegossen wird; sobald man den Hahn öffnet, fließt die Flüssigkeit aus dem Trichter in das Ausströmungsrohr herab.

Fig. 470.



Wenn durch Terpentinöl der Kessel positiv gemacht worden ist, so ver-

liert sich dieser Zustand bald wieder, wenn nicht neues Terpentinöl eingebracht wird, und geht in den negativen über, sobald alles Terpentinöl weggerissen und verdampft ist. Fette Oele, wie Baumöl, bringen dieselbe Wirkung hervor, nur ist ihre Wirkung bleibender, weil sie nicht so flüchtig sind. Ein Holzfutter, durch welches einmal ein fettes Oel durchgeströmt ist, ist unbrauchbar, um den kräftigen negativen Zustand des Kessels wieder zu erzeugen, wie er entstehen würde, wenn der Dampf durch eine nicht fette Holzröhre ausströmte.

Bringt man durch den Hahn Fig. 470 eine Salzlösung in die Ausströmungsröhre, so hört augenblicklich alle Elektricitätsentwicklung auf.

Alle diese Umstände beweisen, daß nur in der Reibung der ausströmenden Wasser und Dampftheilchen an den Röhrenwänden und nicht in der Veränderung des Aggregatzustandes die Ursache der Elektricitätsentwickelung zu suchen sey.

Die atmosphärische Eisenbahn.

Eine höchst sinnreiche Anwendung des Drucks der atmosphärischen Luft gegen einen luftverdünnten Raum, welche gegenwärtig die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich zieht, ist die sogenannte atmosphärische Eisenbahn.

In der Mitte zwischen den Schienen der Bahn läuft nämlich ihrer ganzen Länge nach eine gußeiserne Röhre her. In dieser Röhre befindet sich ein luftdicht schließender Kolben, so daß wenn auf der einen Seite desselben die Luft aus der Röhre ausgepumpt wird, der auf der andern Seite dieses Kolbens wirkende Druck der Luft ihn forttreibt.

Das Auspumpen der Luft aus der Röhre geschieht durch eine stehende Dampfmaschine.

Der Kolben, welcher durch den Druck der atmosphärischen Luft fortgetrieben wird, zieht nun die Wagen nach sich.

Dies wird dadurch möglich, daß der Kolben mit dem ersten Wagen durch einen Verbindungsarm zusammenhängt. Um diesen Verbindungsarm durchzulassen, ist aber die Treibröhre oben aufgeschlitzt und der Schlitz durch Lederklappen luftdicht verschlossen. Diese Klappen werden hinter dem Kolben geöffnet, um den Verbindungsarm durchzulassen, nachdem dieser aber passirt ist, werden sie wieder geschlossen.

Die Figuren 471, 472 und 473 werden wohl das Prinzip dieser Construction anscheinlich machen. Fig. 445. stellt einen Querdurchschnitt der Bahn mit Treibröhre vor; man sieht, wie die Röhre in der Mitte zwischen den Schienen liegt, man sieht, wie sie oben offen ist. Die Lederklappe, welche den Schlitz bedecken soll, ist in unsrer Zeichnung gerade in dem Momente dargestellt, wo sie gehoben ist, um den Verbindungsarm *d* durchzulassen; sie ist oben und unten mit Eisen beschlagen, damit sie von selbst niederfällt, wenn sie nicht in die Höhe gehalten wird.

Die gußeiserne Treibröhre hat 45 Centimeter Durchmesser, jedes Stück derselben ist 2,7 Meter lang; sie ist innen mit einer 2 — 3 Millimeter dicken Schicht von Wachs und Talg überzogen, um die Unebenheiten des Gusses auszugleichen und die Bewegung des Kolbens zu erleichtern. Fig. 472 stellt den Querdurchschnitt der Röhre dar, wie der Schlitz derselben durch die Klappe bedeckt ist.

Die Einrichtung des Kolbens und wie er mit dem Wagen zusammenhängt, ist aus dem Längendurchschnitte Fig. 473 zu ersehen. An einem gußeisernen Cylinder *k* sind zwei Lederstulpen befestigt, welche, wenn auf der vordern Seite des Kolbens ein verdünnter Raum erzeugt wird, durch den auf der andern Seite wirkenden Luftdruck fest gegen die Cylinderwände angepreßt werden, so daß auf diese Weise der Kolben stets luftdicht schließt. An dem eigentlichen Kolben befindet sich nun eine Stange mit zwei eisernen Schienen *f*, von denen in unserer Figur natürlich nur die vordere sichtbar ist. Zwischen diesen Schienen sind vier Rollen und der Verbindungsarm *d* befestigt. Der Durchmesser der beiden äußeren Rollen ist kleiner als der Durchmesser der mittleren. Die ersten Rolle hebt die Klappe etwas in die Höhe, die zweite hebt sie weiter, so daß nun der Verbindungsarm durchgehen kann. Nachdem er passirt ist, senkt sich die Klappe auf die dritte, dann auf die vierte Rolle, um dann wieder den Schlitz völlig zu verdecken. Eine nachfolgende Rolle *l*, welche am Wagen befestigt ist, drückt dann noch die Klappe von außen fest auf den Schlitz.

Wenn die Klappe aufliegt, so bildet sich bei *o*, Fig. 472, eine Rinne, in welcher sich eine Mischung von Wachs und Talg befindet; eine durch Kohlen erwärmte an dem Wagen hinter der Rolle *l* befestigte Röhre *n*, an welcher sich eine in die Rinne herabreichende Hervorragung befindet, bewirkt eine Schmelzung dieser Masse, wodurch der vollkommne Verschluß wieder hergestellt und die Triebröhre gleich wieder für die nächste Fahrt vorbereitet ist. Diese erwärmte Röhre ist in Fig. 472 im Durchschnitt angedeutet, in Fig. 473 aber weggelassen.

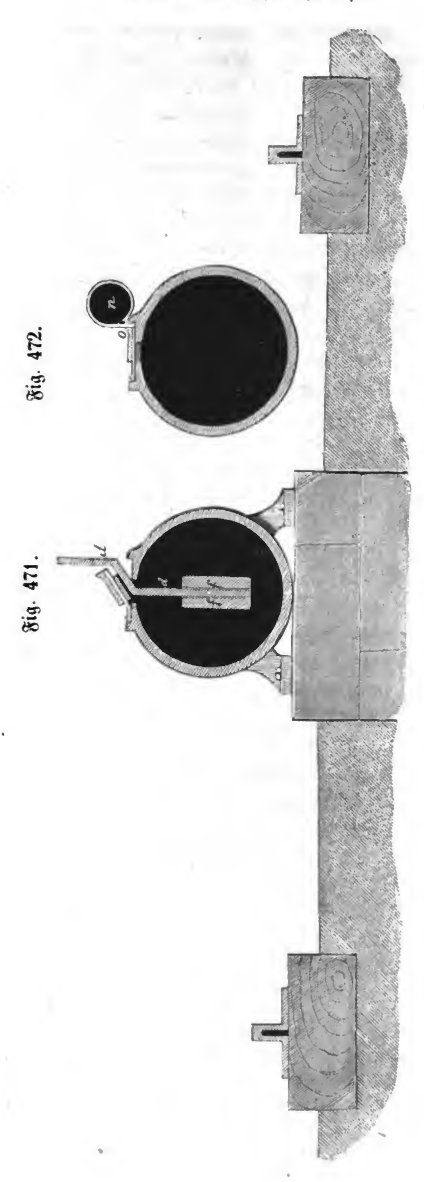


Fig. 471.

Fig. 472.

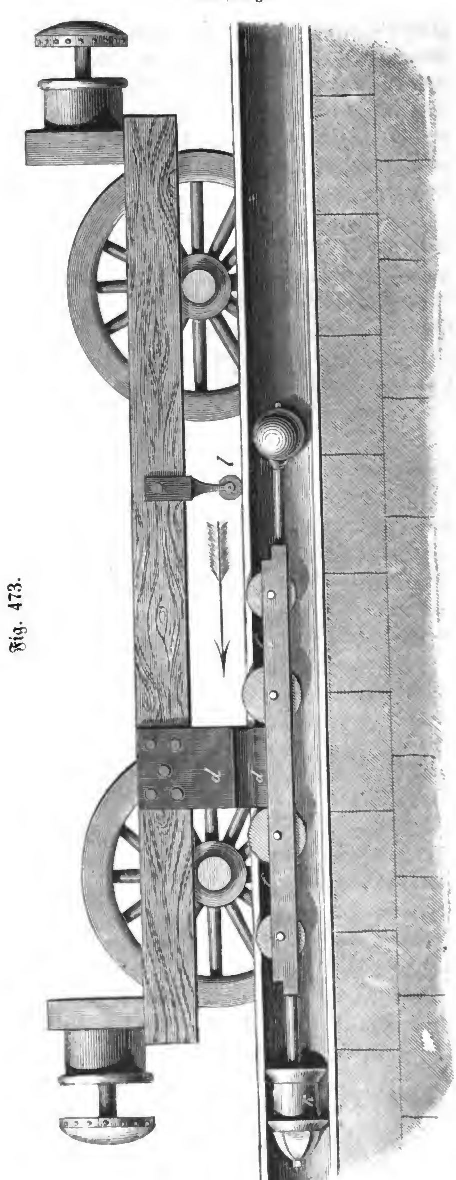


Fig. 473.

Die erste Idee der atmosphärischen Eisenbahn rührt von **Pinkus** her, dessen schon im Jahre 1834 gemachte Versuche jedoch die gehofften Resultate nicht gaben. Einige Jahre später griffen **Clegg** und **Samuda** die Sache wieder auf. Von ihnen rührt die eben angedeutete Construction her; sie haben schon einige Bahnen nach diesem Systeme ausgeführt und seine praktische Anwendbarkeit dargethan.

Ueber die Luftverdünnung in der Treibröhre wurden auf der Bahn von Kingstown nach Dalbey, welche eine Fortsetzung der gewöhnlichen Eisenbahn von Dublin nach Kingstown ist, Versuche angestellt, welche ergaben, daß in einem Glasrohre, dessen oberes Ende mit der Treibröhre communicirt, das Quecksilber bis zu einer Höhe von 25 Zoll, also nur 3 Zoll weniger gehoben werden kann, als der mittlere Barometerstand beträgt. Es ergab sich aus dieser Höhe der Quecksilbersäule, daß der Kolben auf der einen Seite nur einen Druck von $2\frac{1}{2}$ Pfund auf den Quadratzoll auszuhalten hatte, während auf der andern Seite die atmosphärische Luft mit einem Drucke von 15 Pfund auf den Quadratzoll drückt; die Triebkraft betrug also $12\frac{1}{2}$ Pfund auf den Quadratzoll, und da die Oberfläche des Kolbens 176 Q.-Zoll beträgt, so ist die ganze Kraft, mit welcher der Kolben fortgedrückt wird, 2200 Pfund.

Im Allgemeinen hat man aber diese Kraft zum Fahren nicht nöthig, sondern es reicht schon hin, wenn die Luft so weit verdünnt wird, daß die im Barometerrohre aufgesaugte Quecksilbersäule 15 Zoll beträgt, welche eine bewegende Kraft von mehr als 1300 Pfund liefert.

Die wesentlichsten Vortheile der atmosphärischen Eisenbahn bestehen in einer größeren Sicherheit und der Möglichkeit weit bedeutendere Steigungen zu überwinden, als dies bei den gewöhnlichen Eisenbahnen irgend geschehen kann.

Bis jetzt sind atmosphärische Eisenbahnen nur auf kürzere Strecken ausgeführt, ob sie sich auch auf größere Entfernungen mit Vortheil anwenden lassen, ob sie in pecuniärer Hinsicht vortheilhafter sind als gewöhnliche, darüber läßt sich schwer a priori entscheiden, man muß es der Erfahrung anheimstellen.

Berichtigung.

In der Fig. 329 auf Seite 279 des ersten Bandes ist die Richtung der Pfeile innerhalb der kleinen Klammer falsch, sie muß gerade die entgegengesetzte von der in der großen Klammer seyn.

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

B.

